

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Porovnání rizik klasické ražby sběrače v Ostravě Michálkovicích a mechanizované ražby
kanalizačního sběrače

Comparison of the Risks of Classical Excavation of Sewer in Ostrava Michálkovice and
Mechanized Excavation of Sewer

Student:

Bc. Markéta Kičmerová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student:

Bc. Markéta Kičmerová

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3647R017 Geotechnika

Téma:

Porovnání rizik klasické ražby sběrače v Ostravě Michálkovicích a
mechanizované ražby kanalizačního sběrače
Comparison of the Risks of Classical Excavation of Sewer in Ostrava
Michálkovice and Mechanized Excavation of Sewer

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

- 1, Úvod
- 2, Kanalizační sběrač Ostrava Michálkovice
- 3, Mechanizovaná ražba sběrače
- 4, Srovnání rizik obou metod
- 5, Závěr a zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:

Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3
Klepsatel, F. a kol. *Městské podzemní stavby*. Bratislava: Jaga Group, 2005, 286 s. ISBN: 80-8076-021-7.
Exner, K. *Ražení důlních děl*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991, 240 s. ISBN 80-707-8077-0.
Časopis Tunel, příručky CzTA

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně všech příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.“

V Ostravě 2.5.2016

.....
marcela křemenová

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ведоми, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ведоми, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2.5.2016

Anotace

KIČMEROVÁ, Markéta. Porovnání rizik klasické ražby sběrače v Ostravě Michálkovicích a mechanizované ražby kanalizačního sběrače. Ostrava: VŠB-TUO, 2016. 55 s.

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku porovnání rizik klasické ražby sběrače v Ostravě Michálkovicích a mechanizované ražby kanalizačního sběrače v Praze. Zabývá se konkrétními stavbami s obdobnými inženýrsko-geologickými podmínkami a následnými dopady vybraného technologického postupu realizace na stavbu a její okolí. Řeší rizika při použití dané technologie, ovlivnění okolními podmínkami, spolupůsobení stavební konstrukce s horninovým masivem a v závěru srovnává účelnost použité metody pro dané situace.

Klíčová slova: kanalizační sběrač, geotechnické riziko, klasická ražba, mikrotunelování

Abstract

KIČMEROVÁ, Markéta. Comparison of the Risks of Classical Excavation of Sewer in Ostrava Michálkovice and Mechanized Excavation of Sewer. Ostrava: VŠB-TUO, 2016. 55 p.

This Bachelor thesis focuses on issue of comparison of the risks of classical excavation of sewer in Ostrava Michálkovice and mechanized excavation of sewer in Prague. It deals with specific constructions with similar engineering-geological conditions and the consequent impacts of the chosen technological process of realization on the construction and its surroundings. It solves risks of using the technology, affecting environmental conditions, the interaction between building structure and rock mass and in the end it compares the effectiveness of method used in the given situations.

Keywords: sewer, geotechnical risk, classical excavation, microtunnelling

Obsah

Seznam použitého značení	8
1. Úvod.....	9
2. Kanalizační sběrač Ostrava Michálkovice	11
2.1. Technické řešení stavby.....	11
2.2. Nepříznivé jevy při výstavbě.....	16
2.2.1. Horší geologické poměry	16
2.2.2. Zvodnělé vrstvy zeminy v místě Š2	18
2.2.3. Přitoky podzemní vody	19
2.2.4. Tvorba nadvýlomů	20
2.3. Hodnocení rizik	20
3. Mechanizovaná ražba sběrače	26
3.1. Technické řešení stavby.....	26
3.2. Nepříznivé jevy při výstavbě.....	31
3.2.1. Jiné hydrogeologické poměry	31
3.2.2. Poškození mikrotunelovacího stroje	32
3.3. Hodnocení rizik	32
4. Srovnání rizik obou metod	35
4.1. Nežádoucí jevy v geotechnice	36
4.2. Kontrola geotechnických rizik.....	38
4.3. Nejistoty geotechnických rizik	40
4.4. Pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu.....	40
4.5. Druhy geotechnických rizik.....	41
4.6. Snižování geotechnických rizik	42
4.7. Metody pro kontrolu geotechnických rizik.....	43
4.7.1. Metody založené na počtu pravděpodobnosti	43

4.7.2.	Logické stromy.....	44
4.7.3.	Expertní metody FMEA a UMRA	45
4.8.	Srovnání rizik metod obou staveb.....	48
5.	Závěr a zhodnocení	50
	Seznam použitých pramenů	52
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	55

Seznam použitého značení

f_p	součinitel pevnosti dle Protodjakonova [-]
φ	úhel vnitřního tření zeminy [°]
R_{dt}	tabulková výpočtová únosnost [MPa]
FMEA	analýza možných nebezpečí a jejich následků [anglicky <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>]
RPN	index priority rizika [-]
UMRA	univerzální matice rizikové analýzy [anglicky <i>Universal Matrix of Risk Analysis</i>]

1. Úvod

Mým cílem je touto bakalářskou prací seznámit její čtenáře s problematikou metodiky rizik ve stavebnictví. Konkrétně se chci zabývat posuzováním geotechnických rizik od návrhu projektu stavebního díla až po jeho uvedení do provozu. Pro lepší představu pak budu posuzovat rizika na dvou konkrétních stavbách s podobnými vlastnostmi a okolními podmínkami, ale při využití rozdílných technologií při výstavbě. Výstavba obou stavebních děl spadá do činnosti prováděné hornickým způsobem.

Samotná práce se bude skládat ze tří stěžejních částí. První dvě kapitoly budou praktického charakteru a budou pojednávat o konkrétních stavbách kanalizačních sběračů. První praktická kapitola bude popisovat stavbu kanalizačního sběrače v Ostravě Michálkovicích, kde se pro sběrač ručně razila štola. Oproti tomu druhá kapitola bude pojednávat o stavbě kanalizačního sběrače v Praze Vinoři, kde bylo využito mechanizované ražby pomocí mikrotunelování.

Třetí kapitola bude spíše teoretická a bude obsahovat jak základní metodiku pro posuzování geotechnických rizik, tak následně i srovnání těchto rizik na obou stavbách. Celkové zhodnocení vyplývající ze srovnání rizik obou metod provedení jednotlivých staveb bude následně uvedeno v závěru.

Riziko ve stavebnictví obecně lze chápat jako možnost, že s určitou pravděpodobností dojde k výskytu nežádoucí situace, která se liší od našeho původního předpokladu. Následkem rizika je pak vyplývající škoda ze vzniku této nežádoucí situace, která může nabývat různého charakteru od narušení časového harmonogramu prací, přes finanční újmu až po ohrožení morálního obrazu společnosti. S riziky se pak setkáváme po celou dobu trvání projektu, tj. od přípravné fáze, přes realizaci až po samotný provoz stavebního díla.

Vzhledem k tomu, že s riziky se lidé při své činnosti setkávají prakticky odjakživa, bylo k jejich hodnocení využíváno několik přístupů. Prvním byla aplikace metody pokus – omyl, která se používala již od starověku. Jak už její název napovídá, spočívala v opakování úspěšně provedených staveb a v eliminaci neúspěšných pokusů, samozřejmě za předpokladu aplikace v obdobných podmínkách. Druhým je přístup analytický, který byl využíván od 18. století. Je tvořen představou, že pro každý geotechnický problém je dáno pouze jediné řešení, které vychází z výpočtu působících sil, napětí a přetvoření horniny. Jejich snahou bylo vytvořit takový postup, který by dával přesné hodnoty bez ovlivnění nejistotami, za jejichž pomoci by bylo možné navrhnout bezpečné a zároveň ekonomicky výhodné stavební konstrukce. Dalším

přístupem, v řadě již třetím, je využití konceptu stupně bezpečnosti. Ten spočívá v zavedení koeficientu do výpočtů, který by zohledňoval právě nejistoty a vzniklé nečekané situace. Výsledky daných matematických řešení pak následně můžeme považovat v každé situaci za bezpečné. Koeficienty jsou vázány jak na typ geotechnické konstrukce, tak na okolní podmínky a mohou nabývat hodnot od 1,5 do 4. A nakonec poslední, čtvrtý přístup, využívá pravděpodobnosti. Přesněji řečeno vychází z jistoty toho, že absolutní bezpečnost neexistuje, což je dáno zejména složením hodnocených parametrů. Zatímco u předchozích metod bylo využito pouze jediné hodnoty parametru námi sledované veličiny, u pravděpodobnostního přístupu používáme náhodný soubor hodnot, který je pro lepší představu sestavován do funkce hustotního rozdělení. [7]

Nakonec bych ještě ráda zdůraznila, že samotná kontrola rizik je v geotechnice daleko složitějším procesem, než v jakémkoliv jiném oboru lidské činnosti. Je to dáno zejména tím, že geotechnická rizika se zabývají odezvou horninového prostředí na lidský zásah do něj. Mluvíme zde o proměnlivosti jednotlivých činitelů na velikost geotechnického rizika, o rozdílných způsobech přetváření a porušování hornin a nakonec i o vlivu umístění v horninovém masivu a porušení horniny či samotného díla v čase. Proto se musíme už předem smířit s tím, že stanovení geotechnických rizik i samotná jejich kontrola budou vždy provázeny jistou mírou nejistot.

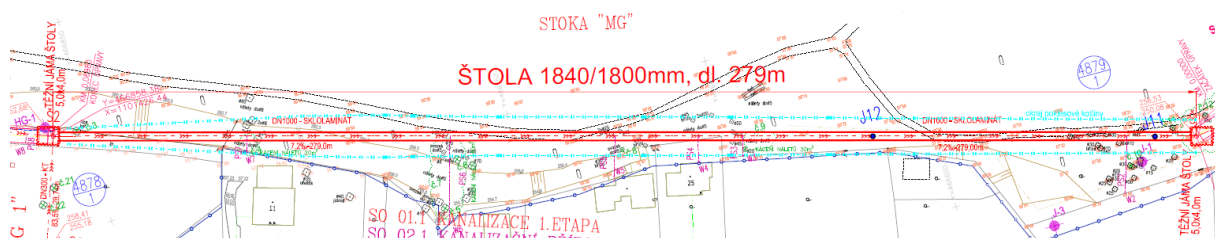
2. Kanalizační sběrač Ostrava Michálkovice

Před stavbou toho kanalizačního sběrače v daném místě žádná kanalizace zbudována nebyla. Existovaly zde pouze žumpy či septiky na pozemcích vlastníků okolních objektů. Docházelo ovšem k průsakům odpadních vod a silnému podmáčení zeminy, kvůli kterým se stala stavba kanalizace nutností.

V této bakalářské práci se budu zabývat pouze tím úsekem kanalizace, pro který byla ražena štola. Klasická ražba štoly pro kanalizační sběrač byla zvolena hlavně kvůli nepřístupnosti terénu a nepříznivým geologickým podmínkám na daném úseku, jelikož se nachází na úpatí haldy bývalého dolu Michal. Ovšem ze stejného důvodu také nedocházelo k dalším komplikacím stavby z hlediska dopravy, jelikož nad trasou kanalizace vede pouze nezpevněná pěší cesta.

2.1. Technické řešení stavby

Účelem stavby je vybudování jednotné kanalizace pro odvádění odpadních vod ze zájmového území ulic Sládečkova, Kolmá a úpatí haldy v Ostravě Michálkovicích.



Obr. 2.1: Situační schéma trasy kanalizace. [10]

Pro potřeby uložení kanalizace byla mezi zbudovanými šachtami 1 a 2 (dále Š1 a Š2) vyražena štola obloukového průřezu o celkové délce 279 m ve spádu 0,72%. Celková plocha výrubu činila 4,7 m². Štola byla zajištěna ocelovou rámovou výztuží profilu K24 ustavenou na ocelové prahy profilu H140 a po obvodu plošně zajištěna pažnicemi UNION (Obr. 2.2). V případě potřeby byla aplikována také chemická injekce nadloží značky WEBAC.

Kanalizace pak byla zatahována do zajištěné štoly o rozměrech 1840/1800 mm na provedenou desku z betonu C20/25. Odpadní potrubí je tvořeno sklolaminátovými troubami DN1000 délky 3 m (Obr. 2.3) a zajištěna ocelovou pásovinou. Následně byla provedena postupná záливka popílkocementem s pevností $R_{dt} \geq 7$ MPa v celé výšce profilu díla.



Obr. 2.2: Vyztužené dílo se zajištěnou čelbou. Foto autora



Obr. 2.3: Sklolaminátové trouby DN1000. Foto autora

Štola se razila klasickým způsobem bez použití trhacích prací. Rozpojování horniny probíhalo ručně s využitím hydraulických nástrojů. Odtěžení zeminy bylo následně využito kolejové s ručním nakládáním. Doprava zeminy do jednotlivých šachet probíhala pomocí ocelového vozíku, který byl následně vyzvednut v jednotlivých šachtách jeřábem na povrch. Razilo se v hloubkách 6,6 až 8,8 m (úroveň počvy štoly) z obou šachet zároveň.

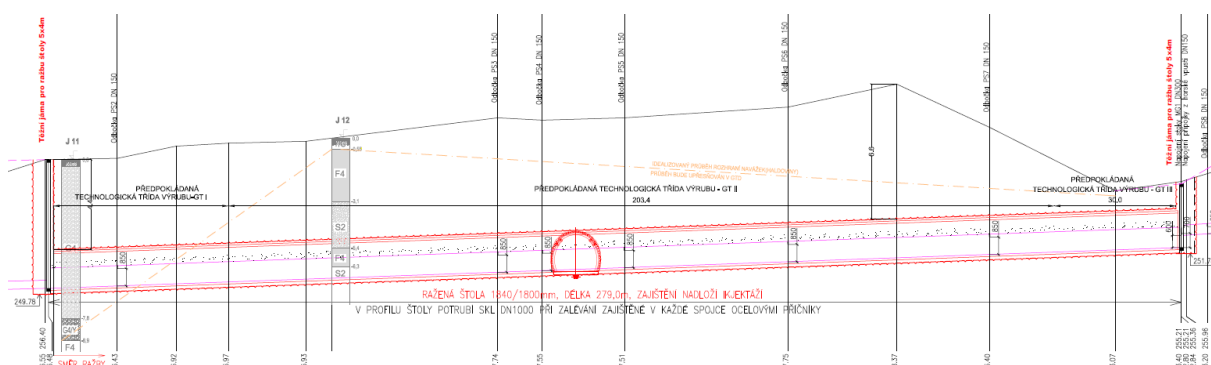
Geologické a hydrogeologické poměry v trase díla byly předpokládány dle původního průzkumu (vrt J11) a dle provedeného průzkumu (vrty HG1 a J12). Umístění vrtů lze vidět na Obr. 2.5, vrt HG-1 byl proveden v místě Š2. Průzkum byl důležitý zejména z důvodu rozšíření znalostí o vrstvách kamenitých štěrků (také haldovina) v podloží, z jeho výsledků pak bylo rozhodnuto o zajištění zmíněných vrstev injektážemi. Hladina podzemní vody byla zastižena jen ve vrtu HG-1 a její výška odpovídala počvě budoucí štoly. Souvislá hladina podzemní vody práce neměla ovlivnit. Efekt injektáží na vrstvu kamenitých štěrků můžeme vidět na následujícím Obr. 2.4.



Obr. 2.4: Vrstvy kamenitých štěrků na čelbě zajištěné injektážemi. Foto autora

V trase díla byly dle provedeného průzkumu stanoveny celkem tři kvazihomogenní celky (označeny A, B a C), na jejichž základě pak byly určeny tři geotechnické typy ražby. Jedná se o:

- **geotechnický typ I** (dále GT I) – pro kvazihomogenní celek A, ražba probíhá v nesoudržných vrstvách (zejména kamenitých štěrků),
- **geotechnický typ II** (dále GT II) – pro kvazihomogenní celek B, ražba probíhá v nesoudržných vrstvách pouze z části (kamenité štěrky a písky), na počvě se vykytují vrstvy jílu,
- **geotechnický typ III** (dále GT III) – pro kvazihomogenní celek C, ražba probíhá v hlavně v jílech, z části se mohou objevit ještě i kamenité štěrky.

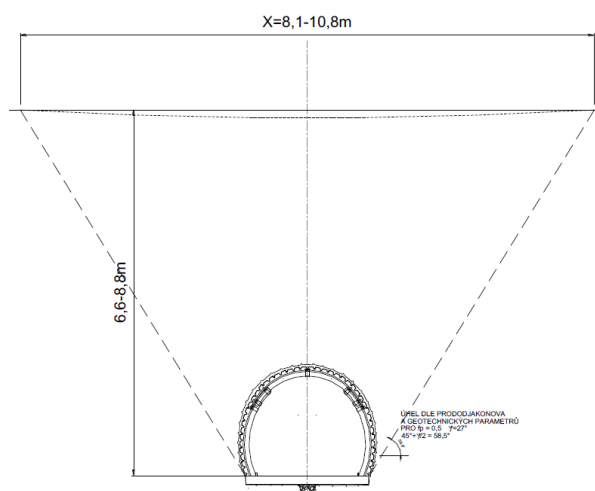


Obr. 2.5: Očekávaná geologie v podélném profilu díla. [10]

Injektáže nadloží byly realizovány formou injektážního deštníku ze samozávrtných injektážních tyčí R32 o délce 2 a 3 m. Tyče byly perforovány ve vzdálenosti 500 mm a na konci osazeny korunkou ve tvaru X. Poté byly aplikovány kolem obloukové výztuže díla

(max. počet 17 tyčí na 1 záběr). Tlak injektážní směsi byl do 1 MPa, ve velmi ulehším prostředí pak docházelo ke zvýšení do 2 MPa.

Ovlivnění okolních objektů, inženýrských sítí či dopravních komunikací nebylo vzhledem ke geologickým podmínkám a vzdálenosti ražby uvažováno. Vycházelo se přitom z výpočtu deformační zóny díla (uvažovány byly nejhorší možné podmínky – třída IX. sypké horniny), která určuje zásah této zóny do vzdálenosti 4,05 až 5,4 m od osy díla (Obr. 2.6).



Obr. 2.6: Schéma deformační zóny štoly. [10]

Trasa štoly neprochází žádným ochranným pásmem inženýrských sítí, ani vedení inženýrských sítí nekříží. V jejím nadloží se také nevyskytuje žádná frekventovaná dopravní komunikace, jen nepevněná pěší cesta, proto nebylo třeba dalších opatření.

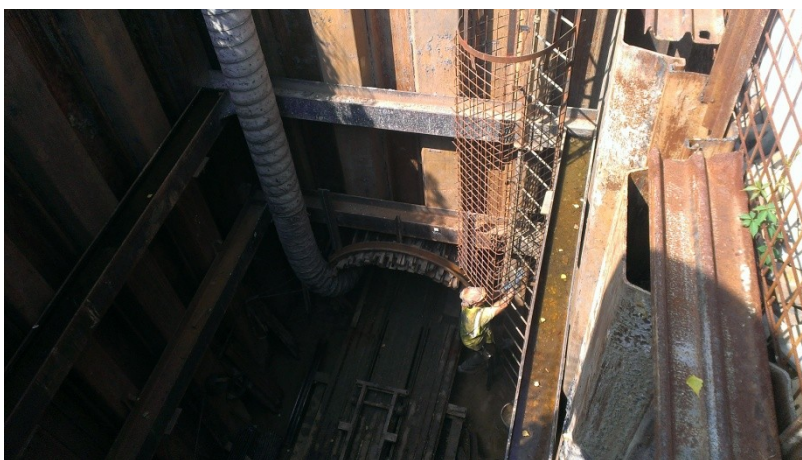
Štola je lokalizována na území s možným výskytem důlním plynů, bylo proto nutné zajistit kontinuální sledování koncentrací plynů CH_4 a CO ve vzduchu (Obr. 2.7).



Obr. 2.7: Přístroj pro měření koncentrace nebezpečných plynů. Foto autora

Ačkoliv se nepočítalo s přítomností podzemních prostor v trase díla, vzhledem k přítomnosti vrstev kamenitých štěrků se tam mohly nacházet. Jejich možné umístění tak bylo sledováno z objemu spotřeby injektážní směsi.

Těžní šachty (tj. Š1 a Š2a) byly provedeny z larsenových štětovnic vháněných do terénu pomocí beranění. Při postupném odtěžování zeminy jsou larseny rozpírány ocelovými rámy z profilu HEB280 pro Š1 (Obr. 2.8) a z profilu I260 pro Š2a (Obr. 2.9). Po dokončení prací pak byly šachty zasypány nesoudržným materiálem (štěrkodrtí) a larseny byly následně vytaženy ze zeminy ven.



Obr. 2.8: Pohled do Š1 z povrchu. Foto autora



Obr. 2.9: Pohled do Š2a z povrchu. Foto autora

Při realizaci těžních jam bylo větrání přirozené, do štol pak bylo realizováno větrání nucené pomocí lutnového tahu. Větrání bylo provozováno nepřetržitě po dobu, kdy byli ve štolě přítomni pracovníci.

Zabezpečení ražby proti lokálním výronům podzemní vody bylo provedeno pomocí aplikace cementových rychleschnoucích směsí na dané místo. Proti přítokům podzemní vody do výrubu měla být realizována drenážní trubka DN100. Při existenci nadvýlomů se postupovalo od vyplnění místa kamenivem, přes vysušení dřevitou vlnou k zajištění pažnicí UNION. Následně byl prostor zajištěn ještě výplňovou injektáží provedenou přes pažnici.

Varovné stavy se obecně nepředpokládaly, jediným stanoveným bylo měření max. svislého přetvoření od prahu po vrchol obloukové výztuže s max. hodnotou 8 mm.

Nakonec bych ještě zmínila metody geotechnického monitoringu provedeného na stavbě, a to:

- měření deformací přilehlých objektů vlivem vzniku poklesové kotliny pomocí nivelace,
- měření deformací přilehlých objektů pomocí sledování vzniku trhlin a jejich vývoje,
- měření kovergence pomocí nivelace,
- hydrogeologické sledování výronů podzemní vody,
- geotechnický dohled celé stavby.

2.2. Nepříznivé jevy při výstavbě

V průběhu výstavby došlo hned k několika situacím, které nebyly projektem ani průzkumem předpokládány. Tyto situace znamenaly např. zdržení prací na stavbě a větší ekonomické náklady pro zhotovitele, ale naštěstí nedošlo k havárii či jinak nepříznivým stavům, příp. ohrožení lidských životů.

Mezi nepříznivé jevy, které se při výstavbě projeví, patří:

- horší geologické poměry,
- zvodnělé vrstvy zeminy v místě Š2,
- přítoky podzemní vody,
- tvorba nadvýlomů.

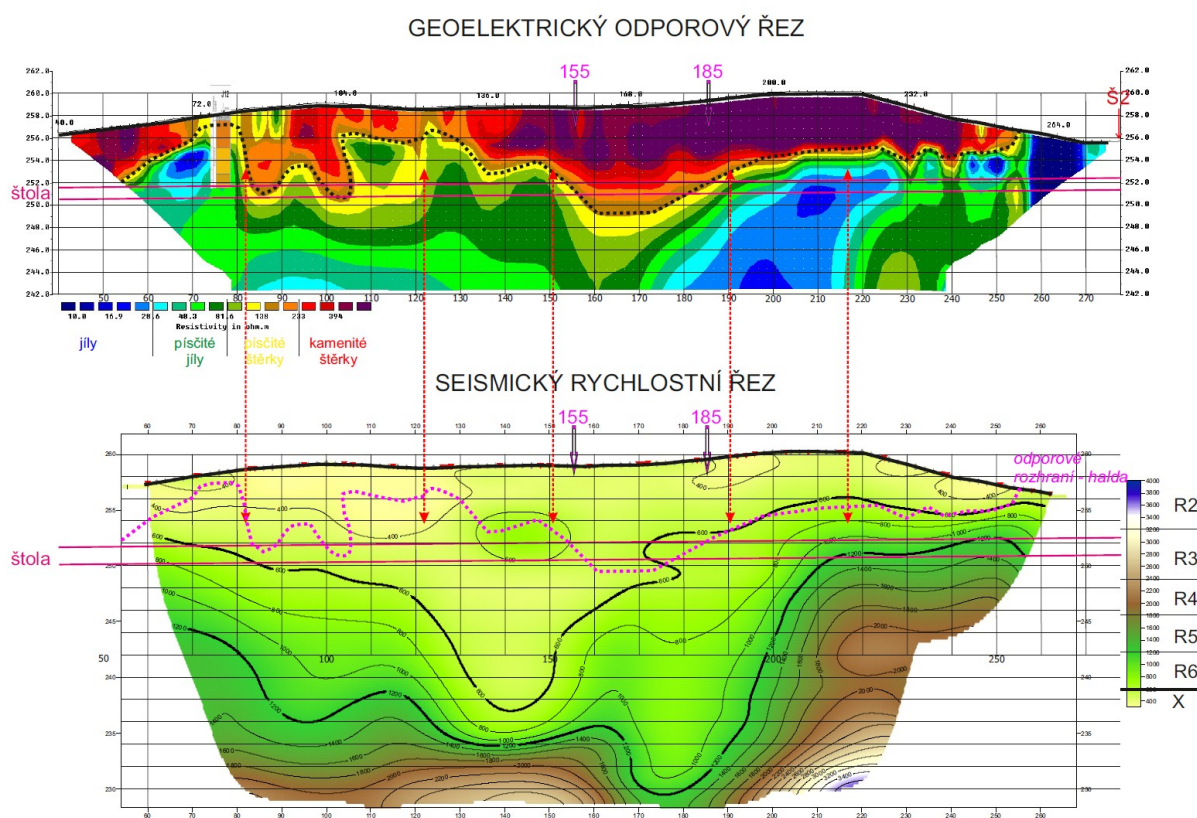
2.2.1. Horší geologické poměry

Při postupu ražby směrem ze Š1 byl předpokládán úplný ústup vrstvy kamenitých šterků z výrubu dle předchozího Obr. 2.5. Ovšem po vyražení 30 m byla tato vrstva v čelbě stále přítomná, i když v menším rozsahu. Jednalo se o stropní část čelby a její nadloží.

Vzhledem k tomu, že s takovým průběhem projekt nepočítal, byla ražba zastavena a stanoven kontrolní den, kdy bylo následně rozhodnuto o dalším postupu.

Problémem v této situaci byla volba zajištění vrstvy kamenitých štěrků na čelbě pro její bezpečné odtěžení. Využívaly se chemické injektáže, se kterými bylo v malém rozsahu dle projektu počítáno, ovšem při větším využití by tvořily značné vícenáklady pro zhotovitele stavby. Z geotechnického hlediska se realizace injektážního deštníku osvědčila, zajišťoval dostatečnou ochranu díla i pracovníků.

Pro lepší představu o komplikovaném průběhu vrstvy kamenitých štěrků byl proveden geofyzikální průzkum v trase díla. Konkrétně bylo využito metod multielektrodeového odporového sondování a seismické tomografie (Obr. 2.10).



Obr. 2.10: Výsledky geofyzikálního průzkumu. [11]

Dle výsledků průzkumu byl následně předpokládán průběh vrstvy kamenitých štěrků dle tečkové čáry na Obr. 2.10. Po tomto zjištění bylo uvažováno i o změně technologie výstavby (např. na využití mechanizované ražby pomocí mikrotunelování), ale vzhledem zejména k nákladům a časovým prostojeům, které by tato změna vyvolala, byla nakonec

ponechána stávající technologie výstavby. Pro zajištění této vrstvy bylo i nadále využíváno injektážních dešťníků.

V průběhu výstavby byl poté veden inženýrskogeologický průzkum, ve kterém byly zaznamenávány vrstvy zemin na čelbách při jednotlivých postupech. Lze tedy doložit, že zatímco vrstvy kamenitých štěrků byly očekávány ve staničení od Š1 na 80 až 122 m (s vrstvami písčitých štěrků) a na 151 až 190 m, projevíly se jen v úseku od 151 do 190 m. V úseku staničení od 80 do 122 m se projevíly pouze vrstvy písčitých štěrků (více v kap. 2.2.4). Lze tedy vyvodit závěr, že provedení geofyzikálního průzkumu v daných podmínkách bylo vhodné a splnilo svůj účel, ovšem jeho výsledky nemusí být úplně přesné.

2.2.2. Zvodnělé vrstvy zeminy v místě Š2

V místě Š2 byla provedena kopaná sonda pro geologický průzkum zejména z toho důvodu, že zemina v jejím okolí byla značně podmaččená. V době zahájení prací na Š2 byl vrt zasypán hrubozrnným štěrkem, pod kterým se nacházela rozbředlá jílová vrstva (Obr. 2.11).



Obr. 2.11: Umístění Š2. [10]

Z Obr. 2.11 lze jasně vidět, že to nebyly vhodné podmínky pro provedení Š2 a započetí protisměrné ražby. Bylo tedy rozhodnuto o zbudování šachty 2a (dále Š2a) ve vzdálenosti 21 m blíže směrem k Š1, kde se již nacházely soudržné jílové vrstvy. K ražbě těchto 21 m bylo přistoupeno až následně po proražení úseku mezi Š1 a Š2a, kdy již byly vlastnosti vrstev zemin v tomto úseku zlepšeny (vlivem zlepšení hydrogeologických podmínek). Jednalo se o využití larsenových štětovic v okolí trasy ražby v tomto úseku a odčerpávání podzemní vody a prosakujících odpadních vod v místě Š2.

2.2.3. Přítoky podzemní vody

Ačkoliv se v místě Š2a nacházely soudržné jílové vrstvy, ani situace zde nebyla pro ražbu ideální., jelikož na počvě štolý se stále nacházela vrstva zvodnělých písčitých štěrků. Docházelo zde ke značným přítokům podzemní vody do staničení 11 m od Š2a (Obr. 2.12). Tyto přítoky byly odčerpávány čerpadlem umístěným na čelbě (následně bylo umístěno ve vytvořené jímce, Obr. 2.13) a dalším čerpadlem umístěným v Š2a. Ovšem k ovlivnění hydrogeologických podmínek docházelo i nadále, a to zejména srážkami, které v té době probíhaly ve vyšším úhrnu. Ovšem postupně s větší vzdáleností čelby od Š2a byly jejich projevy čím dál méně znatelné.



Obr. 2.12: Zvodnění jílových vrstev a přítoky podzemní vody při ražbě z Š2a. [10]



Obr. 2.13: Čerpadlo v malé jímce umístěné ve štolě. Foto autora

2.2.4. Tvorba nadvýlomů

S tvorbou nadvýlomů bylo počítáno nepravdělně, zejména v úseku staničení od Š1 na 80 až 122 m ve vrstvách písčitých štěrků. K zajištění těchto vrstev bylo využíváno předrážení pažnic UNION po celém obvodu díla (kromě počvy, kde byly případně aplikovány ocelové plechy). I přes toto opatření nakonec došlo na 111,4 m staničení od Š1 k vysypání zeminy z čelby a tvorbě kaverny v nadloží. Bylo to způsobeno zejména tím, že nadložní vrstva písků byla navíc zvodněna, což značně ovlivnilo její soudržnost. Sanace postižené oblasti probíhala zajištěním stropní části čelby proti dalšímu sypání zeminy a následně prováděním výplňových injektáží (Obr. 2.14). V jejich důsledku došlo k časovým prostojům a většímu objemu spotřebované injektážní směsi, než v případě provedení zajištění nadloží pomocí injektáží předem.



Obr. 2.14: Tvorba kaverny v písčitých vrstvách. [10]

2.3. Hodnocení rizik

Při hodnocení rizik jsem u této stavby využila metodu logických stromů a expertní metody FMEA a UMRA. Teoretická východiska pro použití těchto metod jsou podrobněji rozebrány v kapitole 4.7.2 (pro logické stromy) a v kapitole 4.7.3 (pro expertní metody FMEA a UMRA). Na následujících obrázcích a tabulkách jsou zobrazeny výsledky jednotlivých metod, a to konkrétně:

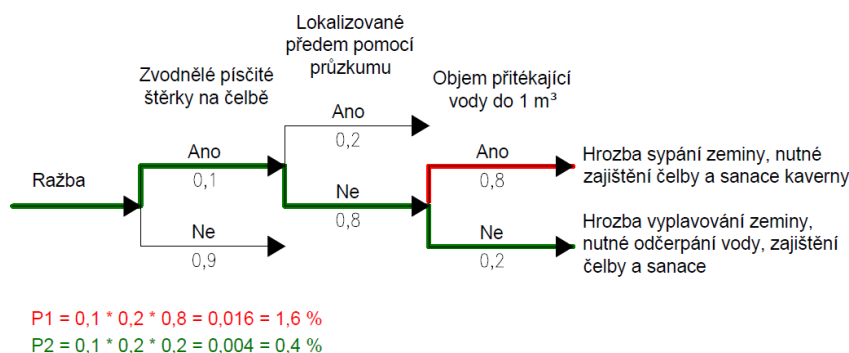
- logické stromy následků na Obr. 2.15 a Obr. 2.16,
- logický strom rozhodování na Obr. 2.17,
- hodnocení nežádoucích jevů metodou FMEA v Tab. 2.1,

- hodnocení nebezpečí pomocí matice metody UMRA v Tab. 2.2.

Pro stanovení prvního stromu následků na následujícím Obr. 2.15 jsem si vybrala dvě konkrétní situace, které na stavbě skutečně proběhly. Jedná se výskyt stejného nežádoucího jevu, a to přítomnost vrstev zvodnělých písčitých štěrků na čelbě, ale s rozdílným dopadem vzhledem k množství proudící vody na čelbu. Jednotlivé situace jsou barevně odlišeny.

Logický strom nám dává jasnou představu o velikosti daných pravděpodobností výskytu jednotlivých jevů. Vzhledem k malé pravděpodobnosti výskytu byly tyto situace řešeny přímo za výstavy po jejich projevení na čelbě. Přesně šlo o 12 m ražby z celkových 279 m a jejich následky byly tvořeny časovými prodlevami ze sanací.

Pravděpodobnost výlomu zvodnělých písčitých štěrků z čelby



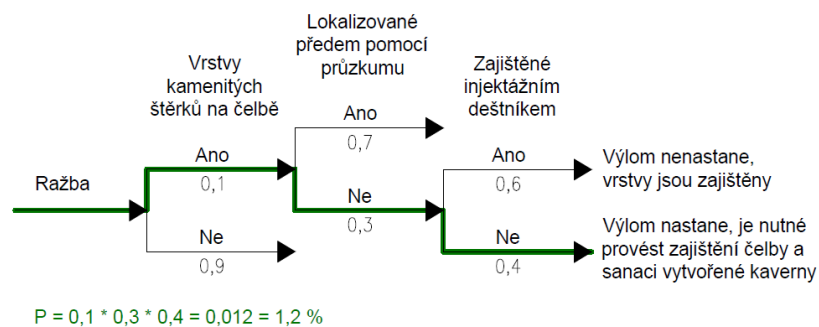
Obr. 2.15: Logický strom pravděpodobností výlomů.

(P – pravděpodobnost)

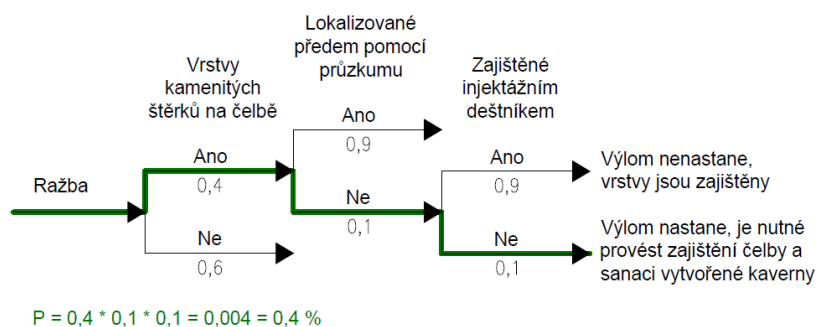
Pro stanovení druhého stromu následků na následujícím Obr. 2.16 jsem si vybrala situaci, kdy může dojít na čelbě k výlomu při přítomnosti vrstev kamenitých štěrků. V jednotlivých částech pak lze jasně vidět, jak se snižuje pravděpodobnost uskutečnění tohoto nežádoucího jevu při detailnější znalosti horninového prostředí stavby. Poslední situace pak ukazuje porovnání se skutečným stavem, který byl zjištěn ražbou.

Názorně zde také vidíme, které předcházející stavy mohou posuzovaný výlom zapříčinit. Můžeme podle tohoto stromu také účinně přistupovat k opatřením na snížení pravděpodobnosti výlomu, pokud považujeme výslednou pravděpodobnost výskytu nežádoucího jevu za příliš vysokou.

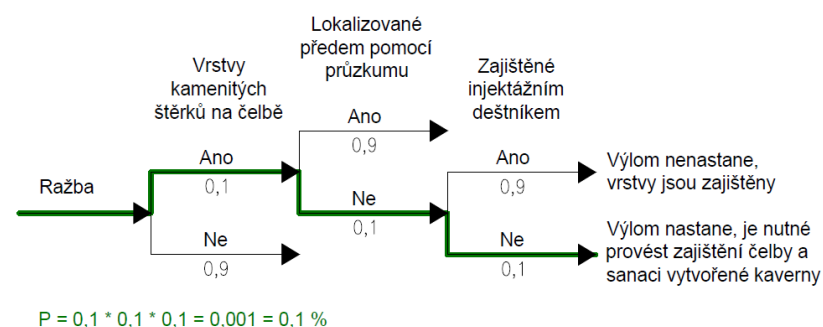
Pravděpodobnost výlomu kamenitých štěrků z čelby
a) původní předpoklady geologických podmínek



b) nové předpoklady geologických podmínek dle geofyzikálního průzkumu



c) skutečné geologické podmínky při ražbě



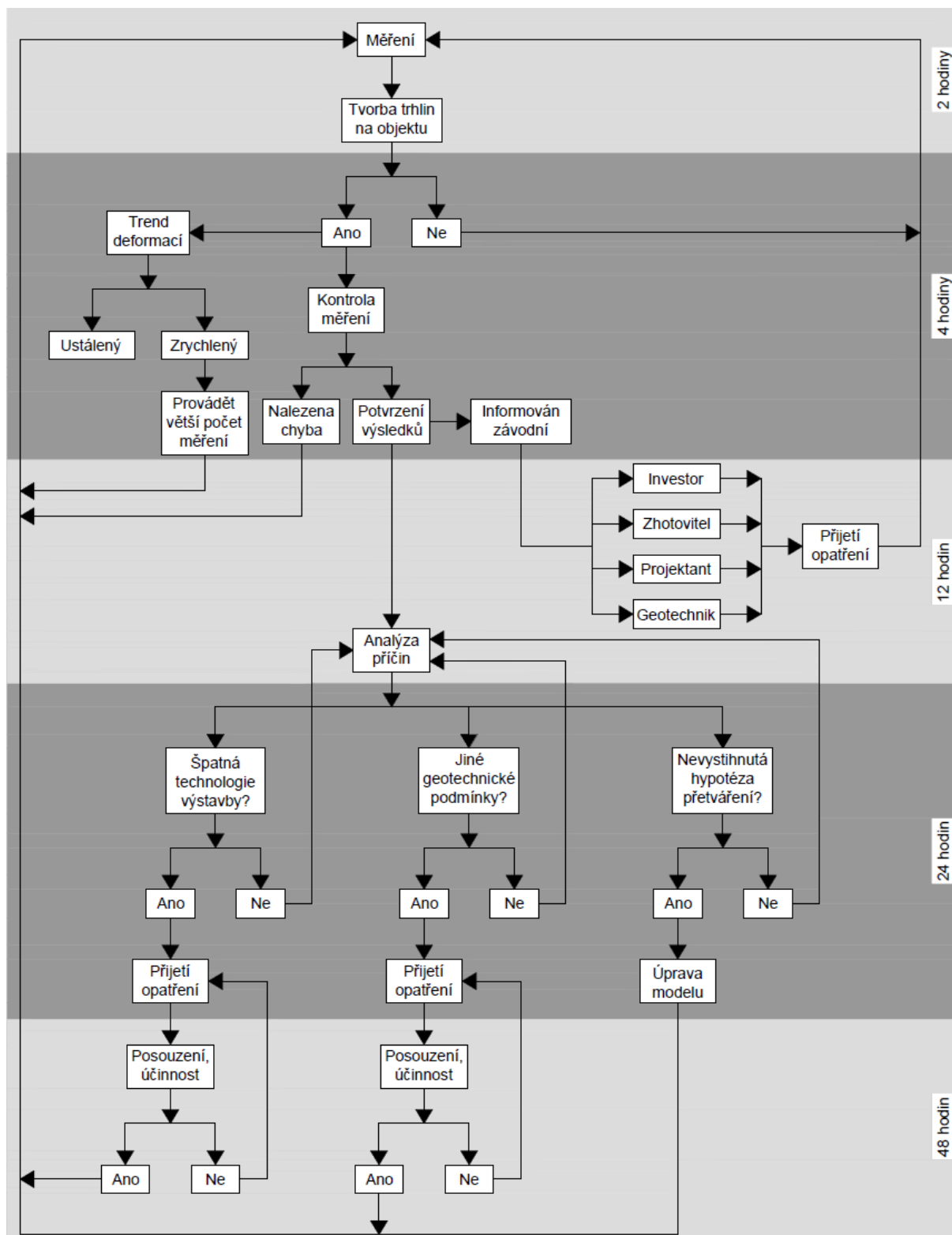
Obr. 2.16: Srovnání pravděpodobností stanovených pomocí logických stromů.

(P – pravděpodobnost)

Pro vypracování posledního logického stromu jsem si vybrala rozhodovací strom na Obr. 2.17. Zobrazuje rozhodovací proces s časovými intervaly pro plnění jednotlivých úkolů. Prakticky je to jasný přehled, jak se v dané situaci chovat a zohledňuje všechny stavy, které by mohly sledovaný nežádoucí jev ovlivnit.

Konkrétně jsem zpracovala logický strom rozhodování, který se zabývá sledováním deformačních projevů vlivem ražby na dotčených objektech na povrchu nad trasou ražby či v jejím blízkém okolí. Vycházela jsem přitom ze situace na stavbě, kde byly dva objekty takto sledovány. Při ražbě v Ostravě Michálkovicích sice k žádným projevům deformací na obou přilehlých objektech nedošlo, ale v opačném případě by tento strom mohl být dobrým

nástrojem pro rychlé a účinné rozhodování o přijetí opatření a identifikaci příčin těchto deformací. Nejlépe se jeho účinnost ale projeví spíše na větších stavbách, kde je rozhodovací proces složitější a přijetí opatření časově zdlouhavější.



Obr. 2.17: Logický strom zobrazující postup k určení příčin deformací objektů.

Příklad hodnocení nežádoucích jevů metodou FMEA je uveden v následující Tab. 2.1. Při zpracování jsem identifikovala možné místa ohrožení při výstavbě, ve kterých by mohlo dojít ke vzniku nežádoucích jevů a následně jsem je oceňovala číselnými hodnotami dle jejich závažnosti pomocí Tab. 4.8 uvedené v kapitole 4.7.3. Výstupem využití této metody pak je seřazení jednotlivých částí dle jejich indexu priority rizika (zkratka RPN).

Hodnocení a formulář metody pro identifikaci rizik jsem uvedla vedle sebe. Pokud by se ovšem k hodnocení touto metodou přistupovalo na stavbě, jednotný by byl pouze formulář metody s nežádoucími jevy, jejich umístěním a důsledky. K hodnocení by pak zvolení znalci v oboru přistupovali jednotlivě a výsledné hodnoty indexů priority rizika by pak vycházely z jejich souhrnného zhodnocení pomocí aritmetického průměru. Tedy oproti mému hodnocení, by výsledné hodnoty nebyly tvořeny celými čísly.

Místo ohrožení	Nežádoucí jev	Důsledek	Hodnocení závažnosti			RPN
			Z	P	U	
Časový harmonogram výstavby	Zpoždění dokončení stavby	Ekonomické náklady pro zhotovitele	1	3	2	6
Jiné geologické podmínky	Kamenité vrstvy a písčité vrstvy	Nutné zabezpečit čelbu a provést opatření (injektáže)	2	2	1	4
Klasická ražba stoly	Poškození nástrojů a vybavení	Oprava či výměna, časové prostoje z přerušení ražby	1	3	1	3
Jiné hydrogeologické podmínky	Zvodnělé vrstvy	Nutné zabezpečit čelbu a provést opatření (odčerpání vody, vysušení, injektáže)	1	3	1	3
Ocelová výztuž díla	Deformace oceli	Snížená nebo nulová únosnost výztuže	2	1	1	2
Ovlivnění objektů v dotčeném okolí ražby	Deformace na objektech	Ekonomické vícenáklady na úhradu škod	2	1	1	2
Bezpečnost práce při výstavbě	Úraz pracovníka	Časové prostupy a ekonomické náklady	2	1	1	2
Dodávka energie	Výpadek dodávky nebo poškození vedení	Časové prostupy, ekonomické náklady a vznik škod	2	1	1	2

Tab. 2.1: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou FMEA.

U této stavby jsem také hodnotila jednotlivá nebezpečí podle matice metody UMRA, která je uvedena v následující Tab. 2.2. Při zpracování matice jsem hledala části projektu, které jsou ohroženy a následně zdroje možných nebezpečí. Jejich vzájemné propojení a ovlivnění jsem poté oceňovala číselnými hodnotami dle povahy jejich nebezpečí. Při určování číselných hodnot jsem vycházela z Tab. 4.9 uvedené v kapitole 4.7.3. Výstupem využití této metody pak je seřazení jednotlivých částí projektu a zdrojů nebezpečí v matici dle jejich součtů. Nejzávažněji ohrožená část projektu je uvedena v řádku nejvýše a největší zdroj nebezpečí pak ve sloupci nejvíce na levé straně.

Pokud by se k hodnocení rizik touto metodou přistupovalo na stavbě, jednotliví znalci by nejprve formou společného zasedání či korespondence volili jednotlivé části stavby či

stavebního procesu, které by považovali za ohrožené a poté určovali zdroje jejich ohrožení. Následně by z těchto poznatků byla sestavena matice metody a k hodnocení by zvolení znalci v oboru přistupovali zase jednotlivě, jako u předcházející metody. Výsledné hodnoty rizik pak vycházejí ze souhrnného zhodnocení pomocí aritmetického průměru a nakonec jsou sčítány pro vyjádření celkového rizika dané oblasti. Stejně jako u minulé metody je nutné zdůraznit, že oproti mému hodnocení, by výsledné hodnoty matice tvořené více experty nebyly tvořeny celými čísly.

Ohrožené části projektu		Zdroje nebezpečí								Součet podle části
		Podzemní voda	Geotechnický průzkum	Projektant	Investor	Předpisy	Povrchová voda	Dodavatelé energie	Geodetické zaměření	
		b (03)	b (01)	b (06)	b (07)	b (08)	b (04)	b (05)	b (02)	
Klasická ražba štoly	a (01)	2	3	2	1	1	1	1	1	12
Vedení trasy díla	a (04)	2	3	2	1	1	1	0	1	11
Ocelová výztuž díla	a (02)	2	2	2	1	1	1	0	1	10
Časový harmonogram realizace	a (07)	2	2	1	1	1	1	1	0	9
Bezpečnost realizace	a (06)	2	1	1	1	2	1	1	0	9
Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum	a (03)	2	2	1	2	1	1	0	0	9
Objekty, komunikace a IS v dotčeném území ražby	a (08)	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Životní prostředí	a (05)	1	1	1	1	1	1	1	0	7
Dodávka energie	a (09)	1	0	1	1	0	0	2	1	6
Součet podle zdroje		15	15	12	10	9	8	7	5	

Tab. 2.2: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou UMRA.

3. Mechanizovaná ražba sběrače

Jedná se o novou tvorbu kanalizačního sběrače, který bude přivádět splaškové vody do nové Čističky odpadních vod Vinoř (dále ČOV). Před stavbou nové ČOV v zájmové oblasti nové kanalizace existovaly, obdobně jako u předcházející stavby, pouze lokální septiky na pozemcích vlastníků okolních objektů. Ovšem oproti předchozí stavbě, se trasa této ražby nachází pod frekventovanou dopravní komunikací, jejíž okolí je hustě zastavěno rodinnými domy.

V této bakalářské práci se budu zabývat pouze tím úsekem kanalizace, pro který byla využita mechanizovaná ražba mikrotunelováním. Mikrotunelování bylo vybráno hlavně kvůli své rychlosti a bodovému přístupu z povrchu formou startovacích a cílových šachet.

3.1. Technické řešení stavby

Záměrem stavby je vybudování kanalizace pro odvádění odpadních vod ze zájmového území ulice Mladoboleslavská (Obr. 3.18) do nově vybudované ČOV v Praze Vinoři.



Obr. 3.18: Fotografie dopravní komunikace na ulici Mladoboleslavská. [12]

Mechanizovaná ražba probíhala z šachet pomocí dálkově ovládaného mikrotunelovacího stroje (Obr. 3.19) s hydraulickou dopravou zeminy, za kterým byly současně hydraulicky protlačovány kameninové trouby DN400 (Obr. 3.20). Předpokládalo se zbudování čtyř startovacích šachet a pěti cílových šachet pro celkem sedm úseků ražby o celkové délce 305,6 m (délky jednotlivých úseků byly v rozmezí 35,5 až 47 m). Ražba byla prováděna v hloubkách 3,8 až 6,2 m (po dno trouby kanalizace).



Obr. 3.19: Mikrotunelovací stroj. Foto autora



Obr. 3.20: Kameninová trouba DN400. Foto autora

Pro ražbu byl použit mikrotunelovací stroj značky ISEKI (konkrétně Iseki Unclemole TCC 400 id). Samotný mikrotunelovací stroj se skládá z řídicí vrtné hlavy osazené korunkami a návěsu. Sestava k mikrotunelovacímu stroji byla tvořena těmito komponenty:

- **vrtačí stolice** – rám pro hydraulické zatlačování stroje a trub (Obr. 3.25),
- **výplach** – tvořen slanou supenzí, veden oběma směry kovovým potrubím,
- **separační kádě** – s cyklónovým prouděním pro separaci vytěžené horniny od výplachové suspenze a sedimentaci vytěžené horninové drti, byly použity celkem tři kádě umístěné v řadě za sebou (Obr. 3.21),
- **kontejner s řídicím centrem** – pro řízení a obsluhu stroje, řídí jeho směr a sklon (Obr. 3.22),
- **generátor** – zdroj hydraulického tlaku.



Obr. 3.21: Separační kádě čistící výplachovou suspenzi. Foto autora



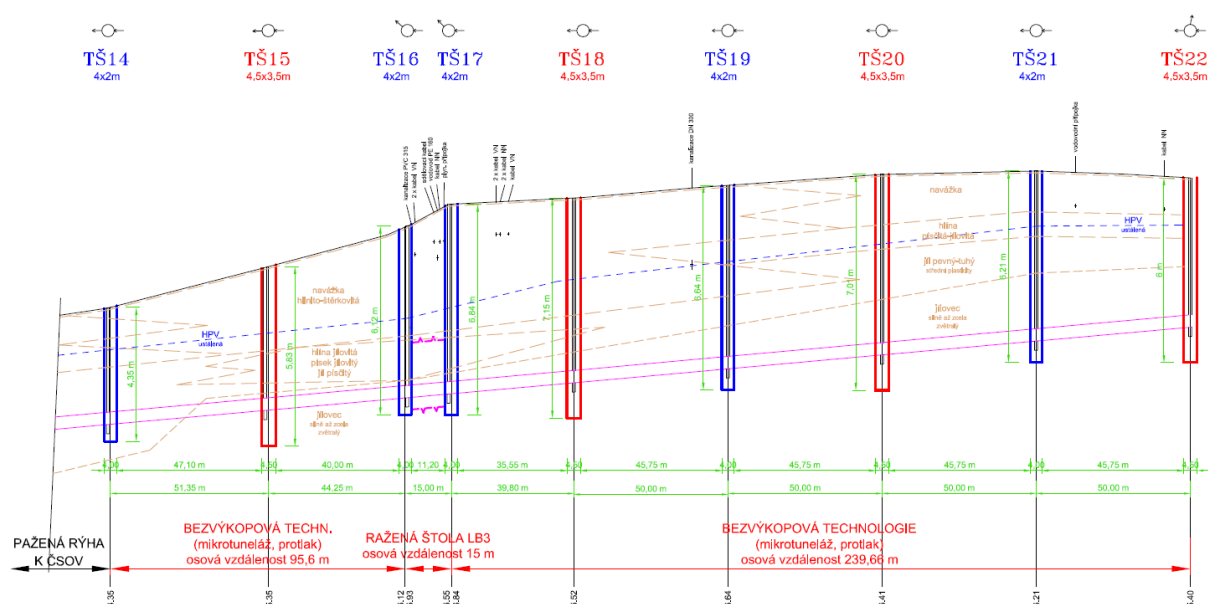
Obr. 3.22: Řídicí centrum mikrotunelovacího stroje. Foto autora

Geologické poměry v trase díla byly předpokládány z geologického průzkumu provedeného pro danou stavbu pomocí vrtů J-107 a Vi-1. Vrstva těsně u povrchu je tvořena navážkami pro konstrukci vozovky a zásypovými materiály podzemního vedení, byly zde zastiženy tedy štěrkovité hlíny a písky. Další vrstvou jsou sedimenty hlinitých písků, hlín a jílu, které následně přecházejí do vrstvy silně zvětralých jílovců. Šachtami budou zastiženy všechny popsané vrstvy, samotná kanalizace pak bude procházet pouze vrstvou silně zvětralých jílovců (mají charakter písčitého až štěrkovitého jílu – F5, F4, S5, G4) pod hladinou podzemní vody. Vzhledem k velkému rozložení jílovců je můžeme považovat za skalní podloží. V trase díla byl stanoven jeden kvazihomogenní celek (označení A). Na následujícím Obr. 3.23 můžeme vidět drť jílovců vyraženou mikrotunelovacím strojem.



Obr. 3.23: Drť silně zvětralých jílovců. Foto autora

Hydrogeologické poměry v trase díla vycházely taktéž z geologického průzkumu provedeného pro danou stavbu, konkrétně z vrtu Vi-2. Území spadá v širším pojetí do povodí řeky Labe, konkrétně pak do povodí Vinořského potoka. Hloubka hladiny podzemní vody (dále HPV) je zde silně závislá na aktuálních srážkách, v trase ražby je ustálená v hloubce cca 1,5 až 3 m pod povrchem terénu s přítoky z písčitých vrstev, jejichž velikosti nelze odhadnout. V oblasti TŠ14 byla nalezena málo výrazná průlinová zvědeň provázaná s vrstvou jílovitých písků (pro představu hloubka naražené HPV cca 4 m, hloubka ustálené HPV cca 2,95 m). Zastižená podzemní voda je zvýšeně (III) až vysoce agresivní (IV) na ocelové konstrukce a neagresivní na betonové konstrukce.



Obr. 3.24: Očekávaná geologie v podélném profilu díla. [12]

Práce při ražbě jsou povrchově omezeny zejména tím, že trasa ražby probíhá pod frekventovanou dopravní komunikací, kde je nutné zachovat provoz v jednom jízdním pruhu. Okolní zástavba není díky vzdálenosti od ražby nijak zasažena a šachty byly umístěny mimo dosah inženýrských sítí. Při ražbě nedošlo k jakémukoliv poškození okolních objektů či sítí.

Všechny šachty mají stejné konstrukční řešení, a to ocelové rámy z profilů IPN260 až IPN 220, které jsou svařeny pásy z ploché oceli a zapaženy ocelovými pažnicemi UNION (Obr. 3.25). Jejich dno je poté vyplněno železobetonovou deskou z betonu C20/25 na štěrkovém loži. Dělí se podle své velikosti na šachty startovací s rozměry 4,5 x 3,5 m a na šachty cílové s rozměry menšími 4 x 2 m. Jejich seznam je uveden na následující Tab. 3.3. a jejich umístění lze vidět na předcházejícím Obr. 3.24. Od naražení HPV bude realizována čerpací jímka průsakové vody.

NÁZEV	PŮDORYS [m]	TERÉN [m n. m.]	DNO [m n. m.]	HLOUBKA [m]	SOUŘADNICE STŘEDU	
					"X"	"Y"
TŠ14	4 x 2	225.95	221.60	4.35	1 037 719.77	729 832.74
TŠ15	4.5 x 3.5	227.28	221.45	5.83	1 037 683.83	729 869.41
TŠ16	4 x 2	228.59	222.47	6.12	1 037 651.71	729 899.87
TŠ17	4 x 2	229.30	222.46	6.84	1 037 650.16	729 914.36
TŠ18	4.5 x 3.5	229.51	222.36	7.15	1 037 674.24	729 945.92
TŠ19	4 x 2	229.92	223.28	6.64	1 037 704.58	729 985.66
TŠ20	4.5 x 3.5	230.27	223.26	7.01	1 037 735.13	730 025.24
TŠ21	4 x 2	230.39	224.18	6.21	1 037 766.04	730 064.54
TŠ22	4.5 x 3.5	230.16	224.16	6.00	1 037 797.22	730 103.63

Tab. 3.3: Výpis šachet pro mechanizovanou ražbu. [12]



Obr. 3.25: Pohled do TŠ18 z povrchu. Foto autora

Startovací šachty (tj. TŠ15, TŠ18, TŠ20 a TŠ22) se využívají pro zavedení mikrotunelovacího stroje do horninového masivu a následnou ražbu, jejich dno je tedy 1150 mm pod dnem trouby kanalizace. Oproti tomu cílové šachty (tj. TŠ14, TŠ16, TŠ17, TŠ19 a TŠ21) se využívají pouze k vyzvednutí mikrotunelovacího stroje nahoru, proto mají menší rozměry a jejich dno je pouze 550 mm pod dnem trouby kanalizace. Stejně jako šachty u předcházející stavby, i tyto mají pouze dočasný charakter a po vyražení jsou likvidovány.

Při realizaci šachet bylo větrání přirozené. Pokud došlo k průsakům vody do šachty, bylo aplikováno odčerpávání. Obecně nejsou s přihlédnutím k hloubce a technologii výstavby díla předpokládány měřitelné projevy na povrchu, nejsou tedy ani měřeny.

3.2. Nepříznivé jevy při výstavbě

Během výstavby byl zaznamenán vznik několika situací, které nebyly v projektu ani průzkumu předpokládány. Tyto situace znamenaly např. zdržení prací na stavbě a větší ekonomické náklady pro zhotovitele, ale nedošlo k žádným stavům ohrožení.

Mezi nepříznivé jevy, které se při výstavbě projeví, patří:

- jiné hydrogeologické poměry,
- poškození mikrotunelovacího stroje.

3.2.1. Jiné hydrogeologické poměry

Při postupu ražby směrem od TŠ17 k TŠ16 byl projektem navržen úsek ražené štoly, na kterou pak měly navazovat další dva úseky ražené mikrotunelováním. Ovšem při ražení této štoly byly zjištěny horší hydrogeologické podmínky. Konkrétně šlo o málo výraznou průlinovou zvodeň provázanou s vrstvou jílovitých písků (byla zjištěná vrtem Vi-2 v místě TŠ14), která měla daleko větší význam a zasahovala do rozsáhlejší oblasti, než projekt předpokládal. Již při ražbě štoly od TŠ17 se objevily výrazně zvodnělé vrstvy jílovitých písků (také označení tekuté písky), které nadále pokračovaly až k TŠ16 a dále za ni.

Nakonec bylo rozhodnuto kvůli možným průsakům při napojování štoly zpět na mikrotunelování, že pro ražbu dalších úseků (tj. od TŠ16 k TŠ14) bude využito také ruční ražby štoly. Toto opatření bylo čistě bezpečnostního charakteru, mechanizovaná ražba mohla pokračovat i v těchto vrstvách. V důsledku došlo ke zdržení původního časového harmonogramu stavby, kterému šlo předejít důkladnějším počátečním průzkumem.

3.2.2. Poškození mikrotunelovacího stroje

Při ražbě v úseku z TŠ18 do TŠ19, konkrétně ve staničení 16 m od TŠ18 došlo ve vrstvě silně zvětralých jílovců k uvolnění korunky na hlavě mikrotunelovacího stroje (hlavu bez vady lze vidět na Obr. 3.26). To následně zapříčinilo vychýlení hlavy ze své osy otáčení, čímž vytrhala šrouby, které ji držely umístěné na stroji. V konečném důsledku motor mikrotunelovacího stroje pracoval správně, ale hlava se nehýbala.

Vzhledem k tomu, že k situaci došlo na 16 m a za mikrotunelovacím strojem jsou okamžitě protlačovány trouby kanalizace, nebylo možné stroj vytáhnout směrem zpět a směrem dopředu se nehýbal. Bylo tedy nutné provést výkop z povrchu, stroj vyzvednout a jeho komponenty opravit. V důsledku došlo ke vzniku časových prostoje (pro představu, jen vytvoření výkopu s opravou stroje zabralo 14 dní) a ekonomických vícenákladů.



Obr. 3.26: Vrtná hlava mikrotunelovacího stroje osazená korunkami. Foto autora

3.3. Hodnocení rizik

Pro hodnocení rizik jsem u této stavby využila expertních metod FMEA a UMRA. Teoretická východiska pro jejich použití jsou podrobněji rozebrány v kapitole 4.7.3 uvedené v následujícím textu práce. V následujících tabulkách uvádím výsledky hodnocení dle jednotlivých metod, a to konkrétně:

- hodnocení nežádoucích jevů metodou FMEA v Tab. 3.4,
- hodnocení nebezpečí pomocí matice metody UMRA v Tab. 3.5.

Příklad hodnocení nežádoucích jevů metodou FMEA je uveden v následující Tab. 3.4. Při zpracování jsem identifikovala možné místa ohrožení při výstavbě, ve kterých by mohlo dojít ke vzniku nežádoucích jevů a následně jsem je oceňovala číselnými hodnotami dle jejich

závažnosti pomocí Tab. 4.8 uvedené v kapitole 4.7.3. Výstupem využití této metody pak je seřazení jednotlivých částí dle jejich indexu priority rizika (zkratka RPN).

Hodnocení a formulář metody pro identifikaci rizik jsem uvedla vedle sebe. Pokud by se ovšem k hodnocení touto metodou přistupovalo na stavbě, jednotný by byl pouze formulář metody s nežádoucími jevy, jejich umístěním a důsledky. K hodnocení by pak zvolení znalci v oboru přistupovali jednotlivě a výsledné hodnoty indexů priority rizika by pak vycházely z jejich souhrnného zhodnocení pomocí aritmetického průměru. Tedy oproti mému hodnocení, by výsledné hodnoty nebyly tvořeny celými čísly.

Místo ohrožení	Nežádoucí jev	Důsledek	Hodnocení závažnosti			RPN
			Z	P	U	
Mechanizovaná ražba mikrotunelováním	Poškození hlavy stroje	Neprobíhá ražba, nutno stroj vyzvednout na povrch a opravit	3	2	2	12
Jiné geologické podmínky	Kamenité vrstvy a vrstvy s měkkou konzistencí zemin	Může dojít k poškození stroje nebo zastavení ražby	3	2	2	12
Mechanizovaná ražba mikrotunelováním	Poškození návěsu stroje	Zavíší na závažnosti poškození, ražba může probíhat i nadále	1	2	3	6
Časový harmonogram výstavby	Zpoždění dokončení stavby	Ekonomické náklady pro zhotovitele	1	3	2	6
Kameninové trouby DN400	Popraskání trouby	Netěsnost, v horším případě zničení trouby	2	1	2	4
Ovlivnění objektů v dotčeném okolí ražby	Deformace na objektech	Ekonomické vícenáklady na úhradu škod	2	1	1	2
Bezpečnost práce při výstavbě	Úraz pracovníka	Časové prostupy a ekonomické náklady	2	1	1	2
Dodávka energie	Výpadek dodávky nebo poškození vedení	Časové prostupy, ekonomické náklady a vznik škod	2	1	1	2

Tab. 3.4: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou FMEA.

U této stavby jsem také hodnotila jednotlivá nebezpečí podle matice metody UMRA, která je uvedena v následující Tab. 3.5. Při zpracování matice jsem hledala části projektu, které jsou ohroženy a následně zdroje možných nebezpečí. Jejich vzájemné propojení a ovlivnění jsem poté oceňovala číselnými hodnotami dle povahy jejich nebezpečí. Při určování číselných hodnot jsem vycházela z Tab. 4.9 uvedené v kapitole 4.7.3. Výstupem využití této metody pak je seřazení jednotlivých částí projektu a zdrojů nebezpečí v matici dle jejich součtů. Nejzávažněji ohrožená část projektu je uvedena v řádku nejvýše a největší zdroj nebezpečí pak ve sloupci nejvíce na levé straně.

Pokud by se k hodnocení rizik touto metodou přistupovalo na stavbě, jednotliví znalci by nejprve formou společného zasedání či korespondence volili jednotlivé části stavby či stavebního procesu, které by považovali za ohrožené a poté určovali zdroje jejich ohrožení. Následně by z těchto poznatků byla sestavena matice metody a k hodnocení by zvolení znalci v oboru přistupovali zase jednotlivě, jako u předcházející metody. Výsledné hodnoty rizik pak

vycházejí ze souhrnného zhodnocení pomocí aritmetického průměru a nakonec jsou sčítány pro vyjádření celkového rizika dané oblasti. Stejně jako u minulé metody je nutné zdůraznit, že oproti mému hodnocení, by výsledné hodnoty matice tvořené více experty nebyly tvořeny celými čísly.

Ohrožené části projektu		Zdroje nebezpečí								Součet podle části
		Podzemní voda	Geotechnický průzkum	Projektant	Investor	Předpisy	Dodavatelé energie	Povrchová voda	Geodetické zaměření	
		b (03)	b (01)	b (06)	b (07)	b (08)	b (05)	b (04)	b (02)	
Mechanizovaná ražba pomocí mikrotunelování	a (01)	3	3	2	1	1	2	1	1	14
Časový harmonogram realizace	a (07)	3	2	1	1	2	1	1	0	11
Vedení trasy díla	a (04)	2	3	2	1	1	0	1	1	11
Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum	a (03)	2	2	1	2	1	0	1	0	9
Kameninové trouby DN400	a (02)	1	2	2	1	1	0	1	1	9
Bezpečnost realizace	a (06)	2	1	1	1	1	1	1	0	8
Objekty, komunikace a IS v dotčeném území ražby	a (08)	1	0	1	1	1	1	1	1	7
Životní prostředí	a (05)	1	0	1	1	1	1	1	0	6
Dodávka energie	a (09)	1	0	1	1	0	2	0	0	5
Součet podle zdroje		16	13	12	10	9	8	8	4	

Tab. 3.5: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou UMRA.

4. Srovnání rizik obou metod

Geotechnická rizika jsou jedny z nejdůležitějších rizik, které se u geotechnických staveb projevují. Můžeme si je představit jako veškerá rizika vyplývající ze spolupůsobení stavební konstrukce s horninovým masivem. Dost často jsou pak také zdrojem ostatních rizik, jako jsou rizika enviromentální a kulturní, podnikatelská, bezpečnostní, finanční, právní, technická a technologická, organizační, rizika přírodních katastrof nebo rizika způsobená selháním lidského faktoru.

Ačkoliv se v geotechnice s nejistotami při řešení problémů často setkáváme, nedochází zatím ke kontrole geotechnického rizika ve větším rozsahu. Ovšem vzhledem k tomu, že poskytuje ekonomicky výhodnější řešení, je o její zavádění čím dál větší snaha, a to hlavně v zahraničí. V praxi již byla úspěšně použita, čímž potvrdila nejen svůj přínos, ale také široký rozsah svého využití v praxi (využití na stavbách tunelů, přehrad a při sesuvech svahů). [2]

Metoda kontroly geotechnického rizika umožňuje rozbor každého jednotlivého případu v jeho daných podmínkách, kdy dochází k lokalizování možných kombinací nežádoucích jevů, které při realizaci inženýrského díla lze očekávat. Dále stanovujeme pravděpodobnost, s jakou by mohly tyto kombinace nastat a technické možnosti, kterými by jejich výskyt i důsledky šly snížit při využití konkrétních opatření. Cílem je následně přijímat taková řešení daných situací, kdy jsou rizika snížena na přijatelnou úroveň a zároveň je dosaženo optimalizace mezi ekonomickými a technickými kritérii vybranými pro daný případ. [2]

Obecně lze říci, že během výstavby nesou jisté riziko všichni účastníci výstavby, což jsou investor (nese celkové finanční riziko úspěšného provedení stavby), zhotovitel stavby (nese zodpovědnost za prováděcí projekt, cenu díla a časový harmonogram prací), projektant (vytváří projekční řešení pro dané geotechnické podmínky) a geotechnický konzultant (nese důsledky své předpovědi spolupůsobení mezi horninovým masivem a stavbou). [7]

Riziko v geotechnice následně definujeme jako souběh dvou parametrů. Prvním je pravděpodobnost, že nežádoucí jev při spolupůsobení horninového prostředí s lidskou činností nastane a druhým je poté důsledek vzniku nežádoucího jevu pro daného nositele rizika. [2]

Je nutné si říci, že riziko není automaticky synonymem pro nebezpečí velké havárie, ztráty na životech, katastrofy či jiné tragické situace. V geotechnice mluvíme o riziku jako o nebezpečí vzniku jakéhokoliv nežádoucího jevu a jeho důsledcích, a to od přípravy projektu přes realizaci až k provozu stavebního díla.

4.1. *Nežádoucí jevy v geotechnice*

V geotechnice definujeme nežádoucí jev jako vznik takového stavu, se kterým nebylo v projektu uvažováno a ze kterého vyplývají nepříznivé důsledky. Ty mohou vyplývat i pouze ze samotného zásahu do přirozeného stavu horninového masivu. Ovšem pokud dojde k jejich projevu, způsobí s jistotou problémy menšího či většího rozsahu (v extrémním případě to mohou být havárie, finanční neúspěch projektu nebo ztráty na životech). [7]

Mezi nežádoucí jevy v geotechnice řadíme tyto stavy:

- **geologické poměry** – očekáváme jiné geologické poměry, než jsou prokázány při realizaci stavby (v důsledku může dojít ke zvýšení cen prací, k prodlevám v časovém postupu stavby, ke změně projektového řešení či technologie výstavby nebo také k potřebě realizace doplňkového průzkumu, v extrémním případě může dojít dokonce k havárii),
- **mechanické vlastnosti hornin** – z geologického či geotechnického průzkumu vyplývají jiné mechanické vlastnosti hornin, než jaké jsou ve skutečnosti na stavbě přítomny (důsledkem pak může být dodatečná změna projektového řešení nebo finanční ztráta způsobená chybně stanoveným rozpočtem),
- **vodní režim** – jedná se o změny vodního režimu podzemních i povrchových vod v závislosti na nahodilých srážkách (důsledky znamenají především změny v časovém plánu či vícenáklady, v širším měřítku pak možné poškození stavby nebo potřebu lepší sanace svahů, než s jakou bylo uvažováno),
- **deformační a napěťová odezva** – projeví se v případě, že deformační a napěťová odezva horninového masivu způsobená realizací inženýrského díla, je rozdílná oproti představě, se kterou počítal projekt (v důsledku může dojít až k soudním sporům investora s majiteli přilehlých objektů nebo k úplné změně technologických postupů, v lepším případě pouze k vícenákladům např. za zdržení stavby nebo kvůli použití sanačních prostředků),
- **průběh geodynamických procesů, zvětrávání hornin, stárnutí stavebních materiálů či reologických procesů** – zde mluvíme zejména o podcenění všech vyjmenovaných situací projektem (důsledkem pak mohou být kromě zničeného materiálu až ztráty na životech, v případě medializace je pak ohrožen i morální obraz zodpovědných subjektů),

- **podzemní dutiny či prostory** – nečekaně se narazí na podzemní dutiny či prostory v malé vzdálenosti od raženého podzemního díla nebo se tyto dutiny a prostory postupně rozšiřují směrem k povrchu terénu (důsledky jsou tvořeny problémy při postupu ražby a nasazením dalších opatření pro sanaci těchto dutin či prostor, někdy jsou ohroženy také objekty na povrchu nebo dokonce lidské životy),
- **dopad na životní prostředí** – v případě nehod při stavební činnosti na díle může dojít k narušení či poškození životního prostředí (v důsledku se může jednat o problém místního charakteru, např. při úniku škodlivin, v extrémním případě však může dojít i celospolečenských škodám, např. při protržení hrází či přehrad, v takových případech jsou pak důsledky pro zodpovědné subjekty tvořeny nejen finanční pokutou, ale i značným poškozením jejich mediálního obrazu). [2]

Kromě předchozích nežádoucích jevů, u kterých je skoro nemožné předvídat jejich výskyt, se mohou vyskytnout i další, u kterých je na vině lidský faktor při provádění stavby. Jejich původem může být nesprávné technické řešení při daných podmínkách, nezvládnutá technologie provádění výstavby nebo chyby lidského faktoru při provádění jinak správně vypracovaného projektu. Jedná se o riziko, které je při zásahu člověka do přirozeného stavu horninového masivu v jisté míře vždy přítomno. [7]

Mezi tyto jiné nežádoucí jevy v geotechnice řadíme chyby jako:

- **špatné provádění kompenzačních injektáží** – pokud požadovaný účinek zvednutí povrchu terénu proti tvorbě poklesové kotliny splní, ale následně dojde také např. k porušení ostění vlivem příliš velkých tlaků injektážní směsi,
- **špatně zvolený časový postup prací** – může být problémem při zatížení nasyceného podloží, kdy dojde k nárůstu pórových tlaků a zaboření konstrukce,
- **porušení základové spáry** – pokud trhací práce při ražbě vyvodí příliš velké seismické účinky nebo při špatném ošetření odkryté základové spáry před působením nepříznivých klimatických vlivů,
- **chyby při sestavování konstrukce** – mluvíme o vynechání některého prvku konstrukce či jeho špatném provedení a roli hraje také doba zbudování těchto prvků,
- **změna hladiny podzemní vody** – při nedbalém či rychlém snížení hladiny podzemní vody může dojít k dodatečnému nerovnoměrnému sedání objektů. [2]

Kromě rizika způsobeného výskytem nežádoucího jevu může dojít také k mnohem vážnější situaci, a to při výskytu několika druhů nežádoucích jevů zároveň. Pokud k takové

situaci dojde, ač je většinou její pravděpodobnost velmi malá, mluvíme o následcích obrovského rozsahu či dokonce o vzniku havárie. Je tedy nutné této oblasti také věnovat pozornost a vhodně zvolenými opatřeními souběh více nepříznivých jevů eliminovat. [7]

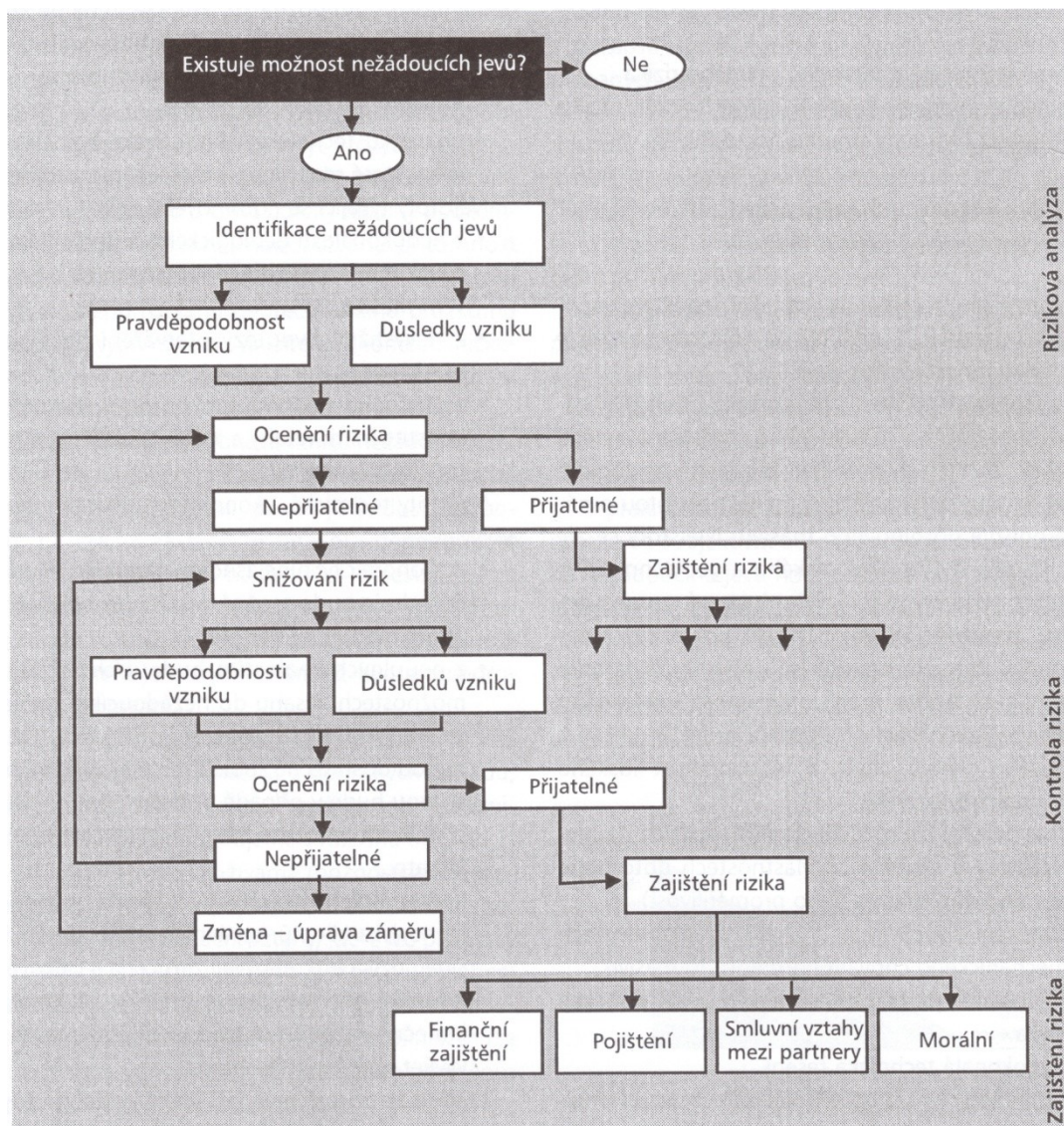
4.2. *Kontrola geotechnických rizik*

Jedná se o náročný proces, který se skládá z včasného rozpoznání či předvídání možných nežádoucích jevů, z oceňování geotechnických rizik, z hledání možných opatření či řešení, jak geotechnická rizika účinně snižovat, poté z rozhodování o postupech při snižování geotechnických rizik a nakonec ze sledování skutečného vývoje geotechnických rizik v průběhu výstavby daného díla. Mluvíme zde o rozhodovacím procesu, do kterého jsou zapojeni všichni účastníci výstavby. [2]

Důležitou roli má v této oblasti zejména geotechnik, jehož práce spočívá ve vyřešení tří základních problémů. První okruh problémů je pro geotechnika nejdůležitější a spočívá v pochopení spolupůsobení systému stavba – hornina, druhým okruhem je průběžné získávání poznatků o chování tohoto systému a ve třetím okruhu pak dochází k ohodnocení zjištěných poznatků a návrhu opatření snižujících pravděpodobnost vzniku nežádoucích jevů během výstavby díla. Poté následuje ještě čtvrtý okruh, který již ale není úplně na bedrech geotechnika. Jedná se o rozhodovací proces, jehož cíle je přijetí vhodných opatření pro zabezpečení chování systému v určených mezích. Tento proces je výsledkem rozhovoru mezi všemi zúčastněnými osobami. [7]

Pro kompletní kontrolu geotechnických rizik je nutné zohlednit také další dva okruhy získaných poznatků a následně i vzájemný vztah mezi nimi. Hovoříme o poznatcích, které se zabývají příčinami přetváření horninového masivu a ekonomické povahy. Při hledání příčin přetváření horninového masivu je velmi důležité se zaměřit i na samotný časový průběh přetváření. Při hodnocení poznatků ekonomického charakteru se pak zaměřujeme zejména na ekonomické ztráty, jejichž původ je ve vzniku nežádoucích jevů v průběhu výstavby či hodnocení nákladů na opatření preventivní, technické nebo technologické povahy. [2]

Je třeba se smířit s tím, že kontrola geotechnických rizik bude vždy spojena s určitými riziky, která nelze eliminovat. Je to dáno především charakterem získávání poznatků, jelikož získávání jako takové nelze nikdy úplně vyčerpat. [2]



Obr. 4.27: Blokdigram řazení kroků při kontrole geotechnických rizik. [2] s. 165

Proces kontroly geotechnických rizik je tvořen mnoha kroky. Jeho detailní průběh můžeme vidět na předcházejícím Obr. 4.27. Obecně tento proces můžeme rozdělit do tří hlavních částí, a to:

- **riziková analýza** (risk assessment) – zabývá se zjišťováním a předvídáním možných nežádoucích jevů, oceňováním jejich důsledků, stanovením pravděpodobnosti jejich vzniku a výpočtem geotechnického rizika se stanovením rizika přijatelného,
- **vlastní kontrola rizika** (risk management) – v praxi znamená průběžné sledování možností vzniku nežádoucích jevů (za pomoci kontrolního sledování) a aplikaci opatření, která mají za následek eliminaci možností vzniku nežádoucích jevů,

- **zajišťování rizika** – je postup k uzavření dohod mezi spolunositeli rizika o rozdělení ekonomických následků mezi sebe v případě, že nastane nějaký nežádoucí jev; patří zde i schopnost subjektů dané riziko přenést, k čemuž se spolu smluvně zavazují. [2]

4.3. *Nejistoty geotechnických rizik*

Nejistotou rozumíme nedostatek spolehlivých poznatků a v případě, že je přítomna v rozhodovacím procesu, je tam také jistá úroveň rizika. [2]

Nejistoty při hodnocení geotechnických rizik se týkají spolupůsobení inženýrského díla a jeho okolního horninového prostředí. Roli zde hrají hlavně proměnlivost vlastností hornin a zemin v čase a prostoru i s případnými změnami oproti předpovědi jejich chování, dále pak chyby při měření horninového masivu či jejich chybná interpretace. Obecně jsou tyto nejistoty přítomny v celém procesu tvorby stavebního díla od počátečního geologického nebo geotechnického průzkumu, přes návrh projektu a jeho realizaci až do provozu již hotového díla. [7]

Vzniklé nejistoty můžeme rozřadit v závislosti na jejich původu na skutečné vlastnosti horninového masivu a změny jeho chování, dále na omezení v současných znalostech mechanického chování horninového masivu, na nedostatek nutných informací o spolunositelích rizika, na nevyhnutelnou míru nedokonalosti technických řešení díla a nakonec na selhání lidského faktoru či technologie v celém procesu výstavby. [2]

Předpokladem pro správné řešení nejistot při kontrole geotechnických rizik je stanovit určitou míru jistoty a spolehlivá kritéria pro rozhodování. Dosahujeme toho průběžným hodnocením a snižováním míry nejistot tam, kde je to vhodné. Této míře nejistot pak přizpůsobíme celý rozhodovací proces.

4.4. *Pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu*

Je to pravděpodobnost, s jakou by při výstavbě inženýrského díla mohlo dojít ke vzniku nějakého nežádoucího jevu. Prakticky tedy můžeme říci, že je měřítkem nejistot. Zaobíráme se jak původem, tak i následky tohoto nežádoucího jevu, z čehož následně určujeme pravděpodobnost jeho výskytu. Důsledky vzniku nežádoucího jevu následně hodnotíme jako škodu, kterou uvádíme ve finančním vyjádření. [7]

V důsledku tedy hovoříme o stanovení celkového reálného geotechnického rizika, a to závisí na práci geotechnika, jelikož právě jeho úkolem je správné stanovení rozsahu geotechnického průzkumu, z něhož následně vytváří geomechanický model horninového masivu a stanovuje hypotézy jeho přetvoření. [2]

Obecně existují tři přístupy, jaké využíváme k určení pravděpodobnosti, a to:

- **empirický přístup** – používá se, pokud známe dostatečné množství poznatků pro určení pravděpodobnosti (např. pravděpodobnost vzniku sesuvu lze odvodit z množství dešťových srážek určité intenzity, což lze zjistit z hydrometeorologického pozorování oblasti),
- **subjektivní přístup** – využíváme v případě, že nemáme k dispozici dostatek poznatků, pracujeme s odbornými odhady či doporučeními znalců v oboru a snažíme se využít analogie,
- **analytický přístup** – aplikujeme pouze v takových situacích, kdy lze pro posudek spolupůsobení horninového masivu a stavby spolehlivě využít konstitučních vztahů, někdy lze také využít přímého stanovení pomocí počtu pravděpodobnosti. [2]

Využití subjektivního přístupu je obvyklejší, než se může zdát. Pravděpodobnost můžeme stanovovat buď ve variantách (např. pesimistický odhad, optimistický odhad nebo nejpravděpodobnější hodnota) nebo subjektivním odhadem hodnotou 0 nebo 1 (hodnota 0 znamená stav, kdy posuzovaný jev s určitostí nenastane a naopak hodnota 1 označuje stav, kdy tento jev určitě nastane). Oproti tomu výhoda analytického postupu spočívá v tom, že nám dává přesné výsledky. To je ovšem dáno zkreslením reálných předpokladů vstupujících do modelu, což nemusí být bezpečné. [2]

4.5. Druhy geotechnických rizik

Obecně platí, že každá stavba musí počítat s jistou úrovní rizika. V geotechnice rozeznáváme dva základní druhy geotechnických rizik, a to přípustné riziko a kontrolované riziko. Dále se poté setkáváme i s termínem existující riziko. [2]

Přípustné riziko určuje takovou výši geotechnického rizika, kterou jsou jeho spolunositelé ochotni či schopni v reálu unést. Pro geotechniky pak znamená mezní hranici, kterou nesmí překročit jimi určená geotechnická rizika plánovaného díla. [2]

S tím dále souvisí termín existující riziko, což je pravděpodobnost, se kterou v daných podmínkách nastane určitý nežádoucí jev s ekonomickými následky. Úkolem geotechnika je toto existující riziko co nejpřesněji ocenit a dobře zvolenými opatřeními snížit jeho úroveň pod úroveň přípustného rizika. [2]

Kontrolovaným rizikem rozumíme využívání metody kontrolního sledování v průběhu výstavby a za provozu díla. Pro kontrolu geotechnického rizika je nejdůležitější, jelikož pomocí něj snižujeme nejistoty týkající se přetvárného chování systému horninový masiv – stavba, a to v současné době i budoucnosti. Hlavním úkolem kontrolního sledování je určení varovných stavů, což jsou situace, které vyžadují aplikaci opatření, aby nedošlo k překročení určené výše přijatelného rizika. [2]

4.6. Snižování geotechnických rizik

Při snižování geotechnického rizika řešíme tři základní oblasti jednotlivě v následujícím pořadí po sobě:

- **pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu** – hledáme varianty pro realizaci stavby, při kterých je pravděpodobnost situací, které vedou k výskytu nežádoucích jevů, co nejmenší (posuzujeme možné technické řešení stavby, technologické varianty provedení stavby, směr a orientaci díla a časový postup výstavby),
- **snižování následků vzniku nežádoucího jevu** – úkolem je včasné předvídaní hrozby vzniku nežádoucího jevu, k čemuž využíváme kontrolního sledování se správnou volbou varovných stavů a také návrhu odpovídajících opatření, při kterých by byly vzniklé škody co nejmenší (snažíme se zejména o eliminaci časových ztrát v důsledku přijímání opatření při vzniku nežádoucího jevu),
- **ekonomická analýza** – z ekonomického hlediska hledáme nejvýhodnější kombinaci opatření, které snižují pravděpodobnost i následky vzniku nežádoucího jevu, důležitým rozhodovacím parametrem je výsledné geotechnické riziko. [2]

Vztah mezi náklady na snižování geotechnických rizik a skutečně dosaženým účinkem je problematickou oblastí rozhodování. Určujícím klíčem je poměr mezi náklady na snižování geotechnických rizik a jejich přímým ekonomickým přínosem. Úkolem geotechnika pak je vyhotovit rizikovou analýzu s rozhodovacím klíčem, podle kterých investor rozhodne o

vhodném poměru snížení geotechnického rizika k vynaloženým finančním zdrojům. V tomto rozhodovacím procesu lze obecně využít jedné ze dvou strategií, a to:

- **maximalistická strategie** – aplikuje maximální možné snížení geotechnického rizika při jakékoliv výši vynaložených ekonomických zdrojů,
- **optimalizační strategie** – hledá ideální poměr mezi náklady na snížení geotechnického rizika a výnosy ze snížení plynoucími. [2]

4.7. Metody pro kontrolu geotechnických rizik

Metod pro kontrolu všech typů rizik, nejen těch geotechnických, je více druhů. Prakticky se liší podle závislosti na typu hodnotícího parametru. Nejpoužívanějšími metodami pro kontrolu geotechnických rizik jsou:

- metody založené na počtu pravděpodobností,
- logické stromy,
- expertní metody. [7]

4.7.1. Metody založené na počtu pravděpodobností

Tyto metody jsou z většiny využívány hlavně v oblasti betonových a ocelových konstrukcí, a to pro hodnocení spolehlivosti konstrukcí. Pro oblast geotechniky, konkrétně spolupůsobení stavební konstrukce s horninovým masivem, je jejich aplikace zatím spíše testována. Mezi tyto metody řadíme konkrétně tyto:

- **metoda vícekritériální optimalizace Monte Carlo** – její výpočet probíhá formou numerické simulace opakovaně sbíraných náhodných proměnných a jejich pravděpodobností, její aplikace probíhá zejména v oblasti podzemního stavitelství (nejčastěji tunely) a při ukládání radioaktivního odpadu do hlubinných uložišť,
- **metoda latinských hyperkrychlí** – oproti předchozí metodě Monte Carlo, je tato výrazně jednodušší a rychlejší,
- **fuzzy technika** – využívá dvou náhodných proměnných, a to klasifikaci horninového masivu dle jeho vlhkosti a charakter a postup stavby v tomto horninovém prostředí
- **metoda multirisku** – jedna z jednodušších metod vycházející ze statistiky, prakticky jde o výpočty funkcí s náhodnými proměnnými. [7]

4.7.2. Logické stromy

Jedná se o běžně využívanou metodu pro analýzu rizik. Její výhodou je právě její podoba, mluvíme totiž o grafickém zobrazení vývoje námi sledovaných jevů a jejich posouzení v čase. Jasně z nich vyplývá, co je příčinou a co důsledkem sledovaného jevu, přičemž jednotlivé návazující jevy mohou být doplněny o pravděpodobnostní hodnocení svého výskytu. Výstupy této metody jsou tak srozumitelné všem účastníkům výstavby. Uplatnění logických stromů má smysl od návrhu projektu až k dokončení výstavby díla. [7]

Druhy logických stromů rozlišujeme prakticky podle toho, k čemu je využíváme. Pokud hledáme optimální řešení konkrétního problému, je možné v rozhodovacím procesu využít logický strom rozhodování (také rozhodovací blokdiagram). Pokud chceme znázornit událostní sled jevů, můžeme využít např. logický strom nežádoucích událostí (také chybový strom), dále také detailnější logický strom příčin nežádoucích událostí a logický strom důsledků nežádoucích událostí. [7]

Mezi hlavní úkoly této metody patří zejména úplnost a jasnost struktury událostí, dále přehledné znázornění nežádoucích událostí včetně případných komplikací, návaznost technologických postupů výstavby a vytvoření vazby mezi stavebními pracemi a jejich odezvou v horninovém masivu. Takto vypracovaný logický strom pak tvoří podklad nejen pro nalezení opatření k zamezení možných nebezpečí, ale také pro přijetí vhodných řešení bez časových ztrát v kritických momentech výstavby. [2]

Vypracování logického stromu je závislé na předpovědi vývoje událostí zpracovatelem, který by proto měl mít nejen obsáhlé znalosti o sledované problematice, ale také zkušenosti z praxe. Všechny jevy v daném stromu obsažené se mohou projevit s uvedenou pravděpodobností a musí být na sobě vzájemně nezávislé. Jevy uvedené ve větvích ve svislém směru mohou nabývat buď párového charakteru (větvě jsou označeny slovy ano a ne) nebo mohou být výčtem několika situací (např. při průvalu mohou být opatření přijímána na základě objemu vody, která do díla přiteče). Vznik těchto jevů se vzájemně eliminuje a součet jejich jednotlivých pravděpodobností je roven hodnotě 1 (tj. 100%), přičemž jejich pravděpodobnost určujeme expertním odhadem. Pravděpodobnost vzniku konečného jevu je pak dána součinem pravděpodobností všech jeho předcházejících jevů. [7]

Větvení nežádoucích jevů v logickém stromu může být obecně v závislosti na druhu posouzení dvojího typu:

- **objektivní posouzení** – větvení logické stromu je dáno charakterem sledovaného jevu (např. projektem, typem monitoringu či použitou technologií výstavby),

- **subjektivní posouzení** – větvení logického stromu je čistě subjektivním pohledem zpracovatele, který dané problematice rozumí, má v ní zkušenosti nebo používá poznatky z obdobné situace v minulosti. [7]

Pro určování pravděpodobností výskytů jednotlivých větví při konstruování logických stromů můžeme také využít tabulkového hodnocení dle Tab. 4.6. K uvedeným hodnotám pravděpodobností je zde přiřazeno slovní vysvětlení jejich výskytu. Mluvíme zde o vícečetném větvení, kdy se události v jednotlivých větvích nemusí vzájemně vylučovat (např. při neočekávaném skalním zřícení může být poškozeno životní prostředí a dojít ke zranění, příp. i ke smrti zároveň). V případě komplikovanějších stavů s většími riziky je lepší využít hodnocení jednotlivých pravděpodobností skupinou více znalců v oboru. [7]

Pravděpodobnost P	Popis
0,001	Skoro nemožné (virtually impossible), v důsledku známých fyzikálních podmínek nebo procesů, které lze popsat a specifikovat téměř zcela důvěryhodně.
0,01	Velmi nepravděpodobné (very unlikely), ačkoliv možnost nemůže být vyloučena na základě fyzikálních či jiných důvodů.
0,10	Nepravděpodobné (unlikely), ale mohlo by nastat.
0,50	Zcela nejisté – není důvod věřit, že jedna možnost je pravděpodobnější než druhá.
0,90	Pravděpodobné (likely), ale nemusí nastat.
0,99	Velmi pravděpodobné (very likely), ale není zcela jisté.
0,999	Skoro jisté (virtually certain), v důsledku známých fyzikálních podmínek nebo procesů, které lze popsat a specifikovat téměř zcela důvěryhodně.

Tab. 4.6: Hodnocení pravděpodobnosti. [7] s. 62

4.7.3. Expertní metody FMEA a UMRA

Tyto metody aplikujeme v případech, kde míru nejistot nemůžeme spolehlivě určit předcházejícími metodami. Prakticky se jedná o metody využívající zkušeností a vědomostí expertů na danou problematiku, kteří jsou rozřazeni do týmů podle řešených problémů. Jejich výstupem pak je společný názor na posuzovanou situaci. [7]

K využití těchto metod se musíme řídit několika základními pravidly. Nejdříve musí být stanovena rozhodovací logika, kterou se budou všichni členové řídit, aby pak jejich stanoviska mohly být vyhodnoceny. Nutné je všem členům zabezpečit dostupnost všech

relevantních poznatků a podkladů. Také jim musí být kladeny i stejné otázky. Analýza samotná se pak skládá ze dvou základních částí, a to z:

- **verbální analýzy** – určují se možné nežádoucí jevy, hledají se místa vzniku nebezpečí a aplikují se scénáře hrozeb dle jednotlivých rizik,
- **kvantitativní analýzy** – dochází k ocenění parametrů verbální analýzy stupni dle připravených stupnic se 4 až 5 hodnotícími stupni. [7]

Výstupem těchto metod je následně tabulka s číselným oceněním jednotlivých rizik. Oblasti s nejvyšší mírou rizika pak důkladně sledujeme jak během tvorby projektu, tak i během výstavby. Metody většinou používáme k analýze jednotlivých oblastí (např. části stavby, technologie výstavby, postup prací), ale lze je využít i k posouzení návrhu celého projektu či k lokalizaci ohrožených míst na stavbě. [7]

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Tato metoda hledá možné původy nežádoucích jevů a poté je seřazuje dle jejich důležitosti. Její zobrazení jasně ukazuje dopad provedených změn projektu na snížení jeho výsledného rizika, ovšem špatně určuje společné příčiny více nežádoucích jevů dohromady. Její aplikace začíná rozdělením posuzované oblasti na co nejmenší úseky, pro které pak posuzuje typ, zdroj a umístění ohrožujícího nežádoucího jevu. Následně odhaduje budoucí vývoj tohoto nežádoucího jevu a nakonec také oceňuje jeho následky dle daných stupnic. Výstup této metody probíhá formou speciálního formuláře FMEA (Tab. 4.7), jehož části jsou poté hodnoceny danou stupnicí závažnosti (Tab. 4.8). Konečným výsledkem metody je poté určení průměrné hodnoty RPN (tj. index priority rizika) pro každou sledovanou oblast. Hodnotu RPN vypočítáme součinem hodnot jednotlivých posuzovaných parametrů dle Tab. 4.8, a to závažnosti nežádoucího jevu (Z), dále pravděpodobnosti jeho výkytu (P) a nakonec možnosti zjistit vznik tohoto nežádoucího jevu (U). [7]

Místo ohrožení	Nežádoucí jev	Důsledek

Tab. 4.7: Formulář FMEA. [7] s. 66

Numerické hodnocení (společné pro Z, P, U)	Závažnost nebezpečí pro vyšetřovaný projekt (Z)	Pravděpodobnost uskutečnění nebezpečí během existence projektu (P)	Zjistitelnost nebezpečí (U)
1	nepodstatné pro projekt, následky realizace nebezpečí lze zvládnout běžnými prostředky bez vysokých nákladů	je považováno za nemožné, ale nelze ho vyloučit	spolehlivá, existuje systém varování
2	na zvládnutí následků realizace nebezpečí se musí podílet několik útvarů s vysokými náklady provozovatele objektu	je velice nejisté	provádějí se pravidelné kontroly s omezenou spolehlivostí
3	náprava škod vyžaduje mimořádné náklady z rozpočtu vlastníka	dá se očekávat	kontroly jsou nepravidelné a/nebo nespolehlivé
4	náprava škod vyžaduje mimořádné náklady z rozpočtu státu	dá se s jistotou očekávat, ale nemusí k němu dojít	nekontroluje se nebo ji nelze včas identifikovat

Tab. 4.8: Příklad hodnotící stupnice závažnosti FMEA. [7] s. 67

Metoda UMRA (Universal Matrix of Risk Analysis)

Tato metoda se oproti své předcházející zabývá hlavně místem vzniku nebezpečí. Jejím výsledkem pak je přehled stavbě hrozících nebezpečí seřazených dle své důležitosti a oceněných dle dané stupnice nebezpečí (Tab. 4.9). Při svém hodnocení používá speciální formulář UMRA, který je tvořen maticí (ve svislém směru jsou uvedeny zdroje nebezpečí pro situace uvedené ve směru vodorovném), jejíž sestavení je tak prvním krokem řešení této metody. Druhým krokem pak je vyplňování formuláře znalci v oboru pomocí stupnice dle Tab. 4.9. Konečným výstupem je pak matice UMRA, jejíž hodnoty byly staticky vyhodnoceny. Výhody této metody spočívají ve velmi malé pravděpodobnosti vynechání nějakého nebezpečí a v jasném zobrazení slabých článků projektu. Oproti tomu z komplexnosti procesu jejího zpracování plyne, že nebude vhodná pro rychlé přijímání opatření. [7]

S_v	Povaha nebezpečí	Pravděpodobnost realizace nebezpečí
0	nevyžaduje žádná opatření, nemá žádný vliv na cenu a lhůtu projektu a je možné, že zůstane nepovšimnuta	nepatrná
1	má nepodstatný vliv na cenu a lhůtu projektu, vyžaduje jen rutinní opravu objektu nebo procesu; realizaci nebezpečí se dá předejít organizačními opatřeními	malá
2	vyžaduje větší náklady na odstranění následků (například čerpání z rozpočtových rezerv), avšak bez vlivu na lhůtu projektu, nehrozí uplatnění smluvních pokut nebo jiných postihů; realizaci nebezpečí se dá předejít technickými a jinými opatřeními	střední
3	vyžaduje změnu projektu, velké náklady na jeho sanaci, eventuálně na změnu technologických postupů, nebo má vliv na lhůtu projektu, a může tedy vést k uplatnění smluvních pokut, náhrad škod apod.	velká

Tab. 4.9: Příklad hodnotící stupnice nebezpečí UMRA. [7] s. 67

4.8. Srovnání rizik metod obou staveb

Srovnání rizik metod obou staveb má dle mého názoru význam, jelikož se jedná o stavby kanalizačního sběrače obdobného průměru trub v komplikovanějších geologických podmínkách. Jednotlivé tvrzení bych podrobněji vysvětlila v následujícím textu.

V ražené štolě byly sice použity sklolaminátové trouby DN1000 (při mechanizované ražbě pak kameninové DN400), ale tento průměr byl použit jen pro trasu štoly. V jiných částech kanalizace byly použity kameninové trouby průměru DN300 až DN500, kdy v částech přímo se napojujících na štolu byly použity právě trouby DN300. Větší průměr byl využit zejména z důvodu tvorby tzv. retenčního prostoru, protože velikost profilu štoly jeho realizaci umožňovala.

Komplikovanějšími geologickými podmínkami v trase ražby děl byla přítomnost vrstev kamenitých štěrků u ražby štoly a u mechanizované ražby pak přítomnost vrstev výrazně zvětralých jílovců v zastavěné oblasti, kdy trasa ražby probíhala pod frekventovanou dopravní komunikací.

Z hlediska porovnání jednotlivých technologií provádění výstavby se jedná o srovnání ruční ražby s kolejovým odtěžením horniny a mechanizované ražby pomocí mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy.

Srovnání vybraných částí obou staveb uvádím na následující Tab. 4.10, která se věnuje porovnání hodnot celkových rizik mezi jednotlivými stavbami dle použitých expertních metod FMEA a UMRA uvedených u každé stavby. Uvedené hodnoty jsou tvořeny součtem všech oceněných rizik na jednotlivých stavbách. Následující text se poté věnuje srovnání těchto hodnot mezi sebou.

Posuzované oblasti	Stavby kanalizačních sběračů	
	Klasická ražba v Ostravě Michálkovicích	Mechanizovaná ražba v Praze Vinoři
RPN dle metody FMEA [-]	24	46
Závažnost nebezpečí dle metody UMRA [-]	81	80

Tab. 4.10: Srovnání vybraných částí obou staveb.

Srovnání v rámci hodnocení rizik expertní metodou FMEA jsem provedla na základě vypočtených hodnot indexů priority rizika. Na základě výsledků z Tab. 4.10 vychází podstatně hůř stavba kanalizačního sběrače mechanizovanou ražbou v Praze Vinoři. Tento výsledek je způsoben zejména vysokým ohodnocením závažnosti poškození hlavy

mikrotunelovacího stroje a vlivu jiných geologických podmínek na průběh ražby, než u klasické ražby v Ostravě Michálkovicích. Z hlediska ohrožujících vlivů jsou ovšem na prvních příčkách ty samé oblasti, a to technologie ražby, geologické podmínky a časový harmonogram výstavby, jejichž důležitost z hlediska způsobených rizik mění pouze jejich svislé pořadí.

Ještě bych zdůraznila úskalí použití této metody, a to hodnocení jejích jednotlivých členů. Pokud se totiž setkáme s nežádoucím jevem, jehož závažnost hodnotíme jako velmi vysokou, ale pravděpodobnost jeho vzniku jako velmi nízkou, získáváme ve výsledku hodnotu, která situaci nemusí odpovídat a index priority rizika tak může být značně podhodnocen.

Srovnání v rámci hodnocení rizik expertní metodou UMRA jsem následně provedla na základě jednotlivých součtů dle ohrožených částí projektu a dle zdrojů nebezpečí. Podle výsledků z Tab. 4.10 lze vidět, že hodnoty celkové závažnosti nebezpečí pro dané stavby jsou si velmi blízké. To je způsobeno zejména podstatou samotné metody UMRA, která je oproti předchozí metodě FMEA nejen velmi důkladná, ale také lépe zohledňuje provázanost mezi závažností nebezpečí a pravděpodobností výskytu nežádoucího jevu.

Ačkoliv při klasické ražbě byly identifikovány pouze dvě oblasti s nejvyšším stupněm nebezpečí a u mechanizované ražby čtyři, vychází ze srovnání druhá zmíněná stavby o jeden bod lépe. Je to způsobeno závažností a pravděpodobností výskytu ostatních nebezpečí, jejichž hodnoty jsou u mechanizované ražby nižší.

Z hlediska ohrožených částí projektů a zdrojů nebezpečí jsou opět na prvních příčkách stejné položky, a to technologie ražby, vedení trasy díla a časový harmonogram výstavby v návaznosti na výskyt podzemní vody a důkladnost provedení geotechnického průzkumu. Jejich důležitost se z hlediska způsobených rizik řadí ve svislém pořadí od nejvyšší hodnoty v návaznosti na vodorovné řazení s nejvyšší hodnotou nejvíce vlevo.

Ještě bych upozornila na nevýhodu použití této metody. Zatímco její nespornou výhodou je jasná identifikace silných a slabých článků projektu, což je ideální pro volbu vhodných opatření, její nevýhodou je zdlouhavost samotného vypracování.

5. Závěr a zhodnocení

Mým cílem bylo touto bakalářskou prací seznámit její čtenáře s problematikou metodiky řízení a hodnocení rizik ve stavebnictví. Konkrétně jsem se věnovala hlavně posuzování geotechnických rizik, a to od návrhu projektu stavebního díla po dokončení jeho výstavby. Pro názornost jsem posuzovala rizika na dvou konkrétních stavbách, a to na klasické ražbě kanalizačního sběrače v Ostravě Michálkovicích a na mechanizované ražbě kanalizačního sběrače v Praze Vinoři. Stavby jsem si vybrala kvůli rozdílné technologii ražby v obdobně problematických geologických podmínkách.

V bakalářské práci jsem se postupně věnovala nejdříve klasické ražbě v Ostravě Michálkovicích a následně mechanizované ražbě v Praze Vinoři. Jednotlivé stavby jsem stručně popsala z hlediska způsobu jejich provedení a inženýrskogeologických podmínek jejich okolního horninového prostředí. Poté jsem identifikovala vzniklé nežádoucí jevy při výstavbě a řešila jejich vznik i následky. Nakonec jsem hodnotila vzniklá rizika na jednotlivých stavbách. V poslední kapitole jsem se poté věnovala teoretickým východiskům pro identifikaci, hodnocení a snižování geotechnických rizik a poté i srovnání těchto rizik mezi jednotlivými stavbami. Celkové zhodnocení tohoto srovnání bude uvedeno v závěru tohoto textu.

Ke srovnání rizik mezi jednotlivými stavbami jsem si vybrala expertní metody FMEA a UMRA, protože poskytují možnost přehledného a jasného zobrazení nejohroženějších oblastí stavby v návaznosti na hodnotu jejich ocenění. Zde platí, čím vyšší hodnotou je oblast oceněna, tím vyšší je její riziko vzniku. Obecně se snažíme, a to nejen ve stavebnictví, vhodnými opatřeními riziko výskytu těchto nepříznivých jevů snižovat, protože řešení následků je oproti prevenci vždy mnohonásobně nákladnější.

Ačkoliv se u nás prozatím řízení a hodnocení rizik v geotechnice neprojevuje ve vyšší míře, jako je tomu např. v zahraničí, myslím, že má určitě svou budoucnost. Jejich význam je ale zřejmý spíše na podzemních stavbách většího rozsahu, než byly stavby kanalizačních sběračů mnou posuzované.

Provedení staveb s ohledem na horninové prostředí a projevené problémy při výstavbě hodnotím celkově jako zdařilé. V Ostravě Michálkovicích byla klasická ražba sice zdlouhavá, ale dokázala se vyrovnat se všemi problémy v trase, se kterými se v projektu neuvažovalo. Oproti tomu v Praze Vinoři bylo mikrotunelováním dokončeno sice jen 71,5% původně uvažované trasy, ale šlo o tu nejrizikovější část trasy a byla dokončena včas a bez vad.

V případě klasické ražby v tomto frekventovaném úseku obydlené oblasti by nejen musely být použity trhací práce, ale také by ražba byla časově náročnější. Vzhledem k těmto skutečnostem, bylo využití mechanizované ražby výhodné.

Ačkoliv se nejednalo o stavby velkého rozsahu či stavby, které by byly sledované širší veřejností, pro mě jako budoucího geotechnika byly velmi zajímavé. Zejména jsem ocenila náročnost problematiky geologického a geotechnického průzkumu, jejichž výsledky byly na obou stavbách jiné, než s jakými bylo uvažováno v projektu. Měla jsem tak možnost sledovat operativní řešení problémů při jejich výskytu a jejich návaznost na další průběh výstavby. Dle mého názoru je hodnocení rizik ve všech oblastech lidské činnosti přínosem a v geotechnice obzvláště, jelikož zde je nejistota vždy přítomná.

Seznam použitých pramenů

Odborná literatura

- [1] HULLA, Jozef a Peter TURČEK. *Zakladanie stavieb*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 1998. 310 s. ISBN 80-88905-05-2.
- [2] ROZSYPAL, Alexandr. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2001. 198 s. ISBN 80-88905-44-3.
- [3] KLEPSATEL, František, Libor MAŘÍK a Miloslav FRANKOVSKÝ. *Městské podzemní stavby*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2005. 285 s. ISBN 80-8076-021-7.
- [4] EXNER, Karel. *Ražení důlních děl I: konvenční technologie ražení důlních děl*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. 240 s. ISBN 80-7078-077-0.
- [5] *Tunel: Časopis českého tunelářského komitétu a Slovenského tunelářského komitétu ITA/AITES : Podzemní stavby (vývoj, výzkum, projektování, realizace)*. Praha: Český tunelářský komitét ITA/AITES, 1969. ISSN 1211-0728.
- [6] Příručky CzTA.
- [7] ROZSYPAL, Alexandr. *Inženýrské stavby: řízení rizik*. 1. české vyd. Bratislava: JAGA, 2008. 174 s. ISBN 978-80-8076-066-3.
- [8] KLEPSATEL, František a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení*. 1. české vyd. Bratislava: JAGA, 2007. 144 s. ISBN 978-80-8076-053-3.
- [9] TICHÝ, Milík. *Ovládání rizika: analýza a management*. 1. vyd. Praha: C.H. Beck, 2006. 396 s. ISBN 80-7179-415-5.

Internetové zdroje

- [10] *Milík Tichý* [online]. Praha: Prof. Ing. Milík Tichý, DrSc., © 2014. [Cit. 13. 4. 2016].
Dostupné z: <http://tirisk.sweb.cz/>

Jiné zdroje

- [11] *Projektová dokumentace stavby Ostrava Michálkovice, štola pro DN1000*. Ing. Pavel Klásek, 2015.
- [12] *Dokumentace geofyzikálního průzkumu stavby kanalizace Ostrava Michálkovice*. Mgr. Oskar Tkadleček, 2015.
- [13] *Projektová dokumentace stavby ČSOV Vinoř – Štěpánovská*. Ing. Martin Kapias, 2014.

Seznam obrázků

<i>Obr. 2.1: Situační schéma trasy kanalizace. [10]</i>	11
<i>Obr. 2.2: Vyztužené dílo se zajištěnou čelbou. Foto autora</i>	12
<i>Obr. 2.3: Sklolaminátové trouby DN1000. Foto autora</i>	12
<i>Obr. 2.4: Vrstvy kamenitých štěrků na čelbě zajištěné injektážemi. Foto autora</i>	13
<i>Obr. 2.5: Očekávaná geologie v podélném profilu díla. [10]</i>	13
<i>Obr. 2.6: Schéma deformační zóny štoly. [10]</i>	14
<i>Obr. 2.7: Přístroj pro měření koncentrace nebezpečných plynů. Foto autora</i>	14
<i>Obr. 2.8: Pohled do Š1 z povrchu. Foto autora</i>	15
<i>Obr. 2.9: Pohled do Š2a z povrchu. Foto autora</i>	15
<i>Obr. 2.10: Výsledky geofyzikálního průzkumu. [11]</i>	17
<i>Obr. 2.11: Umístění Š2. [10]</i>	18
<i>Obr. 2.12: Zvodnění jílových vrstev a přítoky podzemní vody při ražbě z Š2a. [10]</i>	19
<i>Obr. 2.13: Čerpadlo v malé jámce umístěné ve štole. Foto autora</i>	19
<i>Obr. 2.14: Tvorba kaverny v písčitých vrstvách. [10]</i>	20
<i>Obr. 2.15: Logický strom pravděpodobností výlomů.</i>	21
<i>Obr. 2.16: Srovnání pravděpodobností stanovených pomocí logických stromů.</i>	22
<i>Obr. 2.17: Logický strom zobrazující postup k určení příčin deformací objektů.</i>	23
<i>Obr. 3.18: Fotografie dopravní komunikace na ulici Mladoboleslavská. [12]</i>	26
<i>Obr. 3.19: Mikrotunelovací stroj. Foto autora</i>	27
<i>Obr. 3.20: Kameninová trouba DN400. Foto autora</i>	27
<i>Obr. 3.21: Separační kádě čistící výplachovou suspenzi. Foto autora</i>	28
<i>Obr. 3.22: Řídící centrum mikrotunelovacího stroje. Foto autora</i>	28
<i>Obr. 3.23: Drť silně zvětralých jílovců. Foto autora</i>	29
<i>Obr. 3.24: Očekávaná geologie v podélném profilu díla. [12]</i>	29
<i>Obr. 3.25: Pohled do TŠ18 z povrchu. Foto autora</i>	30
<i>Obr. 3.26: Vrtná hlava mikrotunelovacího stroje osazená korunkami. Foto autora</i>	32
<i>Obr. 4.27: Blokdiagram řazení kroků při kontrole geotechnických rizik. [2] s. 165</i>	39

Seznam tabulek

<i>Tab. 2.1: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou FMEA.</i>	24
<i>Tab. 2.2: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou UMRA.</i>	25
<i>Tab. 3.3: Výpis šachet pro mechanizovanou ražbu. [12]</i>	30
<i>Tab. 3.4: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou FMEA.</i>	33
<i>Tab. 3.5: Hodnocení rizik mechanizované ražby metodou UMRA.</i>	34
<i>Tab. 4.6: Hodnocení pravděpodobnosti. [7] s. 62</i>	45
<i>Tab. 4.7: Formulář FMEA. [7] s. 66</i>	46
<i>Tab. 4.8: Příklad hodnotící stupnice závažnosti FMEA. [7] s. 67</i>	47
<i>Tab. 4.9: Příklad hodnotící stupnice nebezpečí UMRA. [7] s. 67</i>	47
<i>Tab. 4.10: Srovnání vybraných částí obou staveb.</i>	48